

**VŠB – Technická univerzita Ostrava  
Fakulta elektrotechniky a informatiky  
Katedra telekomunikační techniky**

**Mobilní aplikace pro návrh konfigurace anténního systému**

**Mobile Application for Configuration and Design  
of Antenna System**

VŠB - Technická univerzita Ostrava  
Fakulta elektrotechniky a informatiky  
Katedra telekomunikační techniky

## Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Tomáš Grygar**  
Studijní program: N2647 Informační a komunikační technologie  
Studijní obor: 2601T013 Telekomunikační technika  
Téma: **Mobilní aplikace pro návrh konfigurace anténního systému**  
**Mobile Application for Configuration and Design of Antenna System**

Zásady pro vypracování:

1. Proveďte rešerši problematiky hygienických limitů pro systém GSM, UMTS a LTE dle platné legislativy.
2. Navrhněte mobilní aplikaci pro výpočet a návrh konfigurace anténního systému technologie GSM, UMTS a LTE s ohledem na hygienické limity.
3. Proveďte testování a odladění aplikace v reálných podmínkách.
4. Výstupy aplikace porovnejte s naměřenými hodnotami na modelovém příkladu a výsledky zhodnoťte.

Seznam doporučené odborné literatury:


- [1] Česká Republika. Zákon č.183/2006 Sb.: o územním plánování a stavebním řádu (stavební zákon). In: Sbírka zákonů 2006.
- [2] Česká Republika. Zákon č.258/2000Sb: o ochraně veřejného zdraví a o změně některých souvisejících zákonů. In: Sbírka zákonů 2000.
- [3] Česká Republika. Zákon č.20/1987 Sb. ve znění zákona ČNR č. 425/1990 Sb.: o státní památkové péči.
- [4] Česká Republika. Nařízení Vlády č. 1/2008 Sb.: ochraně zdraví před neionizujícím zářením. In: Sbírka zákonů 1/2008 na straně 2

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

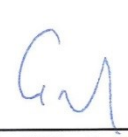
Vedoucí diplomové práce: **Ing. Libor Michalek, Ph.D.**

Datum zadání: 01.09.2014

Datum odevzdání: 07.05.2015

  
doc. Ing. Miroslav Vozňák, Ph.D.  
vedoucí katedry



  
prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.  
děkan fakulty

## Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

V Ostravě dne: 26. dubna 2015



.....  
podpis studenta

## **Poděkování**

Rád bych poděkoval Ing. Liboru Michálkovi, Ph.D. za odbornou pomoc a konzultaci při vytváření této diplomové práce. Rovněž bych rád poděkoval technikům výstavby sítě společnosti O2 Ing. Bohuslavu Stloukalovi a Ing. Pavlu Kostihovi za spolupráci při testování aplikace a panu Mgr. Martinu Bublanovi za spolupráci při měření elektromagnetického pole.

## **Abstrakt**

Tato diplomová práce mapuje hygienické předpisy dle platných zákonů a norem, které jsou závazné pro mobilní operátory v České Republice pro plánování a výstavbu anténních systémů základnových stanic. Podle podmínek těchto legislativních předpisů je navržena a realizována mobilní aplikace pro operační systém Android, která pracovníkům operátorů umožňuje navrhovat konfiguraci anténních systémů při práci v terénu.

## **Klíčová slova**

BTS, GSM, UMTS, LTE, EMP, výpočet EMP, anténní systém, Android, Google, aplikace ElmagCalc for Android

## **Abstract**

This thesis maps hygienic regulations under applicable laws and standards, which are mandatory for mobile operators in the Czech Republic for the planning and construction of antenna systems of base stations. According to these pieces of legislation is designed and implemented mobile applications for the Android operating system, which allows workers operators to design configuration of antenna systems at work in the field.

## **Key words**

BTS, GSM, UMTS, LTE, electromagnetic field, calculation of electromagnetic field, antenna system, Android, Google, application ElmagCalc for Android

## Seznam použitých symbolů

Symbol	Jednotky	Význam symbolu
E	V / m	referenční úroveň intenzity elektrického pole
ERP	dBm	efektivní vyzáření výkon
f	MHz	frekvence
G	dBi	zisk antény
L	m	délka
P	W	výkon
S	W / m <sup>2</sup>	hustota zářivého toku
SAR	W / Kg	měrný absorbovaný výkon v tkáni těla
úhel	°	stupně

## Seznam použitých zkratek

Zkratka	Anglický význam	Český význam
<b>RAN</b>	Radio Access Network	Rádiová přístupová síť
<b>ČR</b>		Česká republika
<b>ČTÚ</b>		Český telekomunikační úřad
<b>GPS</b>	Global Positioning System	Systém zjišťování polohy GPS
<b>A-GPS</b>	Assisted GPS	Asistovaná GPS
<b>EMP</b>		elektromagnetické pole
<b>MHz</b>		megahertz
<b>NV</b>		Nařízení vlády
<b>tzv</b>		tak zvaný
<b>BSC</b>	base station controller	koncentrátor základnových stanic
<b>BTS</b>	Base station	základnová stanice
<b>CDMA</b>	Code division multiple access	Kódový multiplex
<b>DCS</b>	Digital cellular service	Digitální buňkový systém
<b>E-GSM</b>	extended GSM	rozšířené GSM
<b>EIRP</b>	equivalent isotropically radiated power	ekvivalentní izotropně vyzářený výkon
<b>ERP</b>	Effective radiated power	efektivní vyzářený výkon
<b>EV-DO</b>	Enhanced Voice-Data Optimized	vylepšení hlasu - optimalizace dat
<b>FDM</b>	frequency division multiplex	frekvenčně dělený multiplex
<b>GSM</b>	Global System for Mobile Communications	Globální Systém pro Mobilní komunikaci
<b>LTE</b>	Long Term Evolution	síť 4. generace LTE
<b>RNC</b>	radio network controller	koncentrátor rádiové sítě
<b>TDM</b>	time division multiplex	časově dělený multiplex
<b>UMTS</b>	Universal Mobile Telecommunications System	Univerzální mobilní telekomunikační systém



## Seznam použitých termínů

Termín	Význam termínu
2G	druhá generace mobilní telefonní technologie představovaná systémy GSM a DCS. Převážně pro přenos hlasu a v omezené rychlosti i dat.
3G	třetí generace mobilní telefonní technologie představovaná převážně systémem UMTS a CDMA. Vyvinuto prioritně pro přenos dat.
4G	čtvrtá generace mobilní telefonní technologie pro vysokorychlostní přenos dat označovaná jako LTE
azimut	orientovaný úhel, který svírá určitý směr od směru severního udávaný ve stupních
frekvence	fyzikální veličina, která udává počet opakování periodického děje za daný časový úsek
základnová stanice	technologické zařízení zajišťující spojení infrastruktury mobilní telefonní technologie s mobilními stanicemi (telefony) přes radiové rozhraní

# Obsah

1	Úvod .....	1
2	Rešerše problematiky hygienických limitů pro systém GSM, UMTS a LTE dle platné legislativy v ČR.....	2
2.1	Frekvenční pásma systémů mobilních sítí v ČR a vyzařované výkony .....	2
2.1.1	420-450 MHz – síť CDMA .....	2
2.1.2	800 MHz - síť 4G/LTE .....	2
2.1.3	900 MHz – síť 2G/GSM .....	3
2.1.4	1800MHz – síť 2G/DSC a 4G/LTE.....	3
2.1.5	2100MHz – síť 3G/UMTS .....	4
2.1.6	2600 MHz – síť 4G/LTE .....	4
2.2	Konfigurace anténních systémů a plánování sítí LTE.....	4
2.2.1	Výběr území pro pokrytí signálem .....	4
2.2.2	Volba frekvenčního pásma a služby .....	5
2.2.3	Výběr vhodného místa pro instalaci antén.....	5
2.2.4	Legislativa výstavby základnových stanic.....	5
2.3	Legislativa hygienických limitů systémů GSM, UMTS, LTE .....	6
2.3.1	Zákon č.258/2000Sb.....	6
2.3.2	NV č.480/2000 Sb. ....	6
2.3.3	Nařízení vlády č. 1/2008 Sb. ....	7
2.3.4	Metodický návod č. 29015/2009 .....	8
3	Mobilní aplikace pro výpočet a návrh konfigurace anténního systému s ohledem na hygienické limity .....	9
3.1	Výpočet bezpečných zón EMP (elektromagnetického pole) – teorie.....	9
3.1.1	Cíl výpočtu bezpečných zón EMP.....	9
3.1.2	Rozměr R.....	10
3.1.3	$D^{čelní}$ .....	11
3.1.4	$D^{šířka}$ .....	12
3.1.5	$D^{nad}$ a $D^{pod}$ .....	13
3.1.6	Vzájemné ovlivnění antén .....	14
3.2	Mobilní aplikace výpočtu bezpečných zón – ElmagCalc for Android.....	15
3.2.1	Účel mobilní verze aplikace .....	15
3.2.2	Požadavky na aplikaci a její funkcionalitu .....	15
3.2.3	Zadávání vstupních dat.....	16

3.2.1	Výběr antény ze seznamu .....	17
3.2.2	Výpočet zón.....	19
3.2.3	Výsledná tabulka rozměrů zón .....	20
3.2.4	Zákres výsledných zón do Google mapy .....	21
3.2.5	Upřesnění lokalizace antén na mapě .....	24
3.2.6	O aplikaci.....	25
4	testování a odladění aplikace v reálných podmínkách .....	27
5	porovnání výstupu aplikace s naměřenými hodnotami .....	28
5.1	Měření intenzity elektromagnetického pole .....	28
5.2	Výsledky měření EMP .....	29
5.3	Srovnání výsledků měření a výstupů aplikace .....	30
5.3.1	Srovnání měření č. 3.....	30
5.3.2	Srovnání měření č. 7 a 8 .....	32
5.3.3	Srovnání ostatních měření .....	34
6	Závěr.....	35
	Použitá literatura .....	36
	Seznam příloh.....	38

---

# 1 Úvod

V současné době dochází v České Republice k výrazným změnám v konfiguraci mobilních sítí všech stávajících mobilních operátorů. V roce 2013 byly Českým telekomunikačním úřadem vydány licence pro provozování sítí LTE – long Term Evolution. Tyto licence operátorům mimo jiné určují termíny, do kterých musí být konkrétní části území pokryta touto službou, což odstartovalo masivní investice a výstavbu mobilních sítí LTE. Současně přistoupili operátoři k určitým kooperacím na straně infrastruktury svých sítí, které v konečném důsledku přinesou nemalé kompenzace nákladů na instalaci LTE. Tyto spolupráce přinášejí další výrazné změny v konfiguracích stávajících sítí ať už v části RAN nebo v části přenosové optické či mikrovlnné sítě. Jde především o technické sloučení jednotlivých základnových stanic operátorů do společných míst, využívajících společné infrastruktury základnové stanice, společných anténních, napájecích a podpůrných systémů, společných přenosových kapacit.

Instalace LTE sítí probíhají téměř výhradně na stejných základnových stanicích, kde již nyní mobilní operátoři provozují zařízení sítí 2G a 3G. Přidání nového zařízení, šířícího signál sítí 4G LTE prostřednictvím nového anténního systému, přináší zvýšené nároky na dodržování hygienických limitů v okolí vysílacího zařízení. Dochází ke zvýšenému vlivu elektromagnetického pole, jehož intenzitu a dopad na obyvatelstvo ošetřují vyhlášky a zákony. Rovněž kooperace operátorů při sdružování, které znamenají sloučení vysílacích parametrů do společných anténních systémů, mají velký vliv na hygienické limity v okolí těchto anténních prvků. Tyto vlivy je potřeba sledovat a vyžádá-li to situace, je nutno s nimi počítat už při plánování instalací nových technologií.

V této práci je zmapována platná legislativa stanovující podmínky provozování základnových stanic. Pro operativní práci plánovačů a projektantů při navrhování konfigurace anténních systémů je zde navržena, naprogramována a otestována mobilní aplikace, která již ve fázi plánování na zájmovém místě dokáže eliminovat špatná rozhodnutí z hlediska umístění antén v konkrétním prostředí v souvislosti s hygienickými limity.

---

## 2 Rešerše problematiky hygienických limitů pro systém GSM, UMTS a LTE dle platné legislativy v ČR

### 2.1 Frekvenční pásma systémů mobilních sítí v ČR a vyzařované výkony

V ČR jsou pro veřejné radiokomunikační sítě vyhrazená frekvenční pásma v okolí frekvencí 450MHz, 800 MHz, 900 MHz, 1800MHz, 2100MHz a 2600MHz. Všechna tato frekvenční pásma podléhají licenčním povolením, na jejichž základě je provozují společnosti T-Mobile Czech Republic a.s., O2 Czech Republic, a.s., Vodafone Czech Republic, a.s. a Air Telecom a.s.

Rozdělení rádiového spektra v České Republice je detailně rozepsáno v [1] a [2].

Vzhledem k dalšímu zaměření této práce jsou u každého frekvenčního spektra uvedeny vysílací výkony, se kterými operátoři aktuálně pracují, nebo jsou určeny obecně platnými předpisy jako nejvyšší možné.

#### 2.1.1 420-450 MHz – síť CDMA

Toto frekvenční spektrum je v ČR využíváno pro šíření datových služeb v systému CDMA 1xEV-DO revize A operátory O2 Czech Republic, a.s. a Air Telecom a.s. provozující svou síť pod obchodním názvem U:fon.

Pro uplink je využito pásmo 451,31-455,73 MHz (O2) a 410,2-413 MHz (Air Telecom).

Pro downlink je využito pásmo 461,31-465,73 MHz (O2) a 420,2-423 MHz (Air Telecom).

Pro toto frekvenční pásmo budu dále uvažovat s výkonem, kterým umožňuje do antény vysílat technologie BTS MetroCell Nortel používaná v síti O2. Pro šířku pásma 2x5 MHz to bude výkon  $ERP = 36W$ , který je uveden ve zdroji [11]

#### 2.1.2 800 MHz - síť 4G/LTE

Na základě Rozhodnutí ČTÚ [16] byly v roce 2014 uděleny licence na provozování sítí LTE v tomto frekvenčním pásmu operátorům O2, T-Mobile a Vodafone. Každý z těchto operátorů dostal přiděl frekvencí v souvislé šířce pásma 10 MHz. Rozsah frekvencí pro uplink je určen od 832 MHz do 862 MHz a pro downlink od 791 MHz do 821 MHz. Frekvenčně nejnižší pásmo má přiděleno operátor T-Mobile, nejvyšší pásmo pak Vodafone.

Pro frekvenční pásmo 800MHz je dle podmínek Rozhodnutí ČTÚ určena mezní hodnota EIRP (ekvivalentní izotropně vyzářený výkon) +60dBm na pásmo o šířce 5MHz. Pro šířku pásma 10MHz, kterou lze v tomto frekvenčním pásmu předpokládat jako standardní ze strany operátorů, budu dále počítat s dvojnásobným výkonem a tedy mezní hodnotou EIRP +63dBm/10MHz. Při použití antény se

---

ziskem 16dBi vypočtu ze vzorce teoretické možnosti hodnoty výkonu ERP (efektivní vyzářený výkon) = +48,17 dBm = **63W** [9]. Tento vysílací výkon budu udávat v dalších výpočtech pro frekvenci 800MHz.

$$ERP [dBm] = \frac{EIRP [dBm]}{1,64} \quad (2.1)$$

### 2.1.3 900 MHz – síť 2G/GSM

Frekvenční pásmo 900 MHz je v ČR přiděleno operátorům Vodafone, O2 a T-Mobile. Všichni v ní provozují primárně síť GSM. V roce 2013 vyčlenil operátor Vodafone část jemu přiděleného spektra v šířce 3 MHz pro pilotní provozování sítě LTE.

Síť 2G-GSM pracuje na třech rádiových frekvencích. V ČR a obecně v Evropě, na frekvencích 900MHz a 1800MHz. V Severní Americe je využíváno pásmo 1900MHz.

Frekvenční pásmo 900MHz využívá standardně šířku pásma 25MHz pro uplink (890-915 MHz) a s odstupem 45MHz pásmo o šířce 25MHz pro downlink (935-960 MHz). V těchto pásmech je k dispozici 125 dvojic rádiových kanálů šířky 200kHz. Pro potřeby hovorů je k dispozici 124 kanálů, zbývajících kanál je oddělovací. Kapacitním rozšířením GSM pásma jsou kanály v pásmu E-GSM (extended GSM) obsahující pásma 880-890 MHz pro uplink a 925-935 MHz pro downlink. E-GSM rozšiřuje počet kanálů o 50 na celkový počet 174.

Hodnoty vysílacího výkonu jsou v tomto frekvenčním pásmu omezeny hodnotami, které umožňuje vysílací hardware. Protože v současné době využívají všichni tři uvedení operátoři zařízení výrobce Huawei, jsou při dalších výpočtech uváděny jako maximální možné hodnoty vysílacího výkonu hodnoty nejvýkonnější vysílací jednotky RRU3936 s výstupním výkonem **80W**.

### 2.1.4 1800MHz – síť 2G/DSC a 4G/LTE

Stejně jako frekvenční pásmo 900 MHz je i toto pásmo v ČR přiděleno operátorům Vodafone, O2 a T-Mobile. Všichni operátoři je původně používali výhradně pro síť 2G, ale rozhodnutím ČTÚ z roku 2013 byly rozděleny zbývajících frekvenčních bloky tohoto pásma zaručující celistvost frekvenčních přidělů. Ta umožnila operátorům využít i toto pásmo pro síť LTE.

Síť 2G v pásmu 1800 MHz se obecně nazývá DCS 1800 - Digital Cellular Service. Je zde využito frekvenční pásmo 1710-1785 MHz pro uplink a 1805-1880 pro downlink. Vzájemný odstup je 95 MHz. V těchto pásmech je k dispozici 375 dvojic rádiových kanálů šířky 200kHz. Pro potřeby hovorů je k dispozici 374 kanálů, zbývajících kanál je oddělovací.

Hodnoty vysílacího výkonu budu uvažovat stejné jako u pásma 900 MHz, protože i zde se využívá všemi operátory stejné zařízení firmy Huawei. Výstupní výkon je v maximální hodnotě roven **80W**.

---

### 2.1.5 2100MHz – sítě 3G/UMTS

V ČR je frekvenční pásmo UMTS v okolí 2100MHz rozděleno mezi tři standardy UMTS FDM, UMTS TDM a UMTS Satellite. V současné době je využíván operátory pouze standard FDM. Pro tento standard je k dispozici šířka pásma 60MHz pro uplink (1920-1980MHz) a 60MHz pro downlink (2110-2170MHz). V párovém spektru je k dispozici celkem 12 párů nosných frekvencí o šířce pásma 5MHz rovnoměrně rozdělených mezi tři operátory O2, Vodafone a T-Mobile.

Z hlediska vyzařovacího výkonu je i zde hodnota omezena parametry, které umožňuje vysílací hardware. Při dalších výpočtech jsou uváděny jako maximální možné úrovně vysílacího výkonu hodnoty nejvýkonnější vysílací jednotky Huawei WRFUa2100 s výstupním výkonem **100W**. Tuto hw jednotku využívají všichni tři operátoři.

### 2.1.6 2600 MHz – sítě 4G/LTE

Na základě Rozhodnutí ČTÚ [16] byly v roce 2014 uděleny licence na provozování sítí LTE v tomto frekvenčním pásmu operátorům O2, T-Mobile a Vodafone. Každý z těchto operátorů dostal přiděl frekvencí v souvislé šířce pásma 20 MHz. Rozsah frekvencí pro uplink je určen od 2500 MHz do 2560 MHz a pro downlink od 2620 MHz do 2680 MHz. Frekvenčně nejnižší pásmo má přiděleno operátor O2, nejvyšší pásmo pak Vodafone.

Vysílací výkon v tomto kmitočtovém pásmu není omezen podmínkami licence a v době zpracování této práce nejsou známy technologie, které budou operátoři v praxi používat. Z tohoto důvodu bude při dalších výpočtech uváděn výkon stejný jako u pásma 800 MHz, tedy **63W**.

## 2.2 Konfigurace anténních systémů a plánování sítí LTE

Implementace antén konkrétního frekvenčního spektra na základnové stanice v síti mobilního operátora je předmětem plánování sítí. Při plánování sehrávají svou roli nejrozličnější faktory, které rozhodují při výběru frekvenčního spektra, umístění základnové stanice, instalace konkrétních antén, směrování antén, volby vysílacího výkonu, volby technologie. Každý operátor má svou vlastní strategii pro výstavbu a rekonfigurace anténních systémů tak, aby uspokojil potřeby svých zákazníků.

### 2.2.1 Výběr území pro pokrytí signálem

V případě budování nové sítě, kterou je nyní síť LTE, je pro operátora prioritní dosažení maximálního pokrytí v co nejkratším čase. Síť LTE se převážně instalují na stávajících základnových stanicích, kterých je v České Republice více než 15000. Není v silách žádného operátora tyto základnové stanice osadit technologií LTE všechny najednou. Proto jsou voleny strategie, které upřednostňují buď pokrytí městských aglomerací, nebo silničních tahů nebo objekty konkrétních velkých zákazníků popř. jiné strategie. Z podmínek přidělených licencí pro využití frekvenčních

---

pásem pro LTE [16] jsou navíc operátoři přinuceni pokrýt službou LTE okresy s menší hustotou obyvatel do určitého konkrétního data. Tato podmínka také sehrává roli při výběru pokrývaného území.

### 2.2.2 Volba frekvenčního pásma a služby

Každý operátor má přiděleny frekvenční přiděly v pásmech 800 MHz, 1800 MHz a 2600MHz. Z hlediska rádiového šíření terénem je pro operátory pro rychlé budování sítí použít nejlépe frekvenci 800 MHz, kterou pokryjí největší část území s nejmenšího počtu základnových stanic. Frekvenční pásma 1800MHz a 2600MHz všichni operátoři považují za pásma kapacitní a budou je nasazovat převážně v místech s vysokou koncentrací uživatelů sítí LTE, tedy ve městech, obchodních centrech, na hudebních festivalech, na sportovních událostech.

### 2.2.3 Výběr vhodného místa pro instalaci antén

Při plánování sítí LTE je potřeba na stávající základnové stanice instalovat nové antény pro šíření této služby nebo upravit konfigurace stávajících antén a vyměnit je za vícepásmové, kdy fyzicky jedna anténa bude šířit signál více frekvenčních pásem. Umísťování antén naráží ve většině případů nejen na nutnost přebudování konstrukcí anténních stožárů, ale naráží také na absolvování nutných legislativních kroků, které je potřeba překonat, aby bylo možno antény nainstalovat.

Antény pro LTE podstatným způsobem zvyšují nároky na dodržení volného prostoru v okolí antény, v němž se nesmí pohybovat lidé, aby nebylo ohroženo jejich zdraví přítomností nebezpečného neionizujícího záření, které antény vyzařují. Problematice nárůstu rozměrů bezpečných zón jsem se věnoval ve své Bakalářské práci [13] zpracované na téma *Konfigurace anténního systému základnových stanic mobilní rádiové sítě 4. generace*.

### 2.2.4 Legislativa výstavby základnových stanic

Problematiku legislativy výstavby a rekonfigurací základnových stanic jsem zpracoval v první části mé Bakalářské práce [13]. Při výstavbě nebo rekonfiguracích základnových stanic je z hlediska legislativy nutno přihlížet k několika zásadním legislativním úkonům:

- Podpis smluvního vztahu s majitelem objektu nebo pozemku
- Vyřízení souhlasu příslušného stavebního úřadu se stavbou
- Zajištění vyjádření a souhlasu Národního památkového ústavu a Památkových odborů příslušných magistrátů
- Zajištění souhlasu správ Chráněných krajinných oblastí a ekologických sdružení při stavbách ve volném terénu
- Povolání dalších dotčených institucí, např. HZS (hasičský záchranný sbor), ŘLP (řízení letového provozu...atd
- Vypracování projektové dokumentace stavby včetně statických posudků, geometrického zaměření, revizí a podobně.
- Zajištění souhlasu příslušné Krajské hygienické stanice s provozováním základnové stanice. Tato problematika je detailněji rozepsaná v další kapitole této práce.



---

## 2.3 Legislativa hygienických limitů systémů GSM, UMTS, LTE

Provoz základnových stanic může nepříznivě ovlivnit bezprostřední okolí stanice hlukovou zátěží, která je generovaná hlavně z klimatizačních jednotek, ale také z technologických větráků. Již při plánování výstavby stanice je tedy žádoucí umisťovat klimatizační jednotky a technologické stojany s větráky do míst, která jsou co možná nejvíce vzdálená od obytných místností či kanceláří. Při instalacích klimatizačních jednotek se používají tzv. *silentbloky*, což jsou podložky z tvrzené gumy zabraňující přenosu vibrací do nosných konstrukcí objektů.

V případě výstavby klíčových koncentračních bodů sítě, kde bývají umístěny i další síťové prvky infrastruktury (BSC, RNC...), které vyžadují spolehlivý přívod elektrické energie, mohou být instalovány záložní diesel generátory, které zajišťují napájení technologie v případě výpadků dodávek elektrického proudu. Jejich instalace vyžaduje nejen dodržování hlukových limitů, ale i zabezpečení zařízení proti úniku ropných látek.

Tato diplomová práce je zaměřena na problematiku vlivu anténních systémů na bezprostřední okolí z hlediska hygienických limitů. Každá základnová stanice mobilních operátorů v České Republice musí dle platné legislativy (viz zdroje [4][6][7][8]) splňovat limity pro nejvyšší přípustné hodnoty neionizujícího záření z hlediska možné expozice fyzických osob. Neionizujícím zářením [10] se rozumí elektrická a magnetická pole (EMP) a elektromagnetické záření o frekvenci do  $1,7 \cdot 10^{15}$  Hz (1,7 PHz – peta hertz což je 1 700 000 GHz). Ke konkrétním hodnotám limitů se lze dobrat skloubením podmínek z několika zákonů a vyhlášek, které se touto problematikou zabývají.

### 2.3.1 Zákon č.258/2000Sb.

Zákon č.258/2000 Sb. o ochraně veřejného zdraví a související předpisy stanovuje v § 35 „Neionizující záření“ [4] provozovateli základnové stanice mj. povinnost vypracovat dokumentaci, ve které bude doloženo výpočtem nebo měřením dodržení nejvyšších přípustných hodnot neionizujícího záření z hlediska možné expozice fyzických osob, a předložit tuto dokumentaci příslušnému orgánu ochrany veřejného zdraví. V případě, že nejvyšší přípustné hodnoty jsou překročeny, je provozovateli uložena povinnost provoz zařízení zastavit.

Pro mobilního operátora je ekonomicky výhodnější přistoupit ke zpracování této dokumentace ve formě teoretického výpočtu, který je nesrovnatelně levnější než případné rekonstrukce již vybudované základnové stanice, na které je provedeno měření a je zjištěno, že zařízení přesahuje povolené limity.

### 2.3.2 NV č.480/2000 Sb.

Limitní hodnoty pro elektrická a magnetická pole a elektromagnetická záření s frekvencí od 0 Hz do  $1,7 \cdot 10^{15}$  Hz jsou stanoveny *Nářízením vlády č 480/2000 Sb.* [7]. Limity jsou rozdílné pro *zaměstnance* - osoby seznámené s riziky vystavující se EMP při práci, a pro *ostatní osoby* – všechny fyzické osoby. Limitními hodnotami dle tabulky 2.1 jsou určeny:

- měrný výkon absorbovaný v tkáni těla SAR pro kterýkoliv interval délky šesti minut pro frekvence 100kHz – 10 GHz a

- hustota zářivého toku S specifikovaná jako průměrná hodnota hustoty zářivého toku dopadajícího na plochu 20cm<sup>2</sup> kterékoliv části těla

Tabulka 2.1: Limitní úrovně SAR a S

Nejvyšší přístupné hodnoty		
Měrný výkon absorbovaný v tkáni těla SAR (W/kg)		
Frekvence (f)	Ostatní osoby	Zaměstnanci
100 kHz - 10 GHz	SAR = 0,08 W/Kg	SAR = 0,4W/Kg
Hustota zářivého toku S (W/m <sup>2</sup> )		
Frekvence (f)	Ostatní osoby	Zaměstnanci
10 GHz - 300 GHz	S=10 W/m <sup>2</sup>	S=50 W/m <sup>2</sup>

### 2.3.3 Nařízení vlády č. 1/2008 Sb.

Prováděcím právním předpisem Zákona č.258/2000 Sb.[4] je *Nařízení vlády č. 1/2008Sb. o ochraně zdraví před neionizujícím zářením* [6] , které nejvyšší přípustné hodnoty SAR a S doplňuje o referenční hodnoty pro dobře měřitelné veličiny určené tak, že jejich nepřekročení zaručí, že není překročena ani nejvyšší přípustná hodnota pro měrný absorbovaný výkon. Jde o dvě veličiny, které jsou závislé na frekvenci:

- referenční úrovně intenzity elektrického pole E a

- referenční úroveň hustoty zářivého toku S.

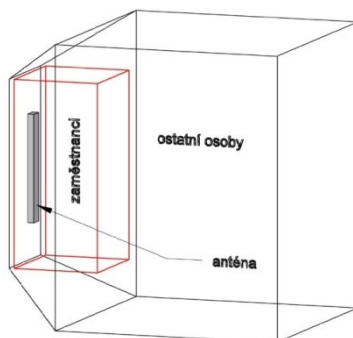
Limitní hodnoty těchto veličin určuje tabulka 2.2.

Tabulka 2.2: Referenční hodnoty E a S

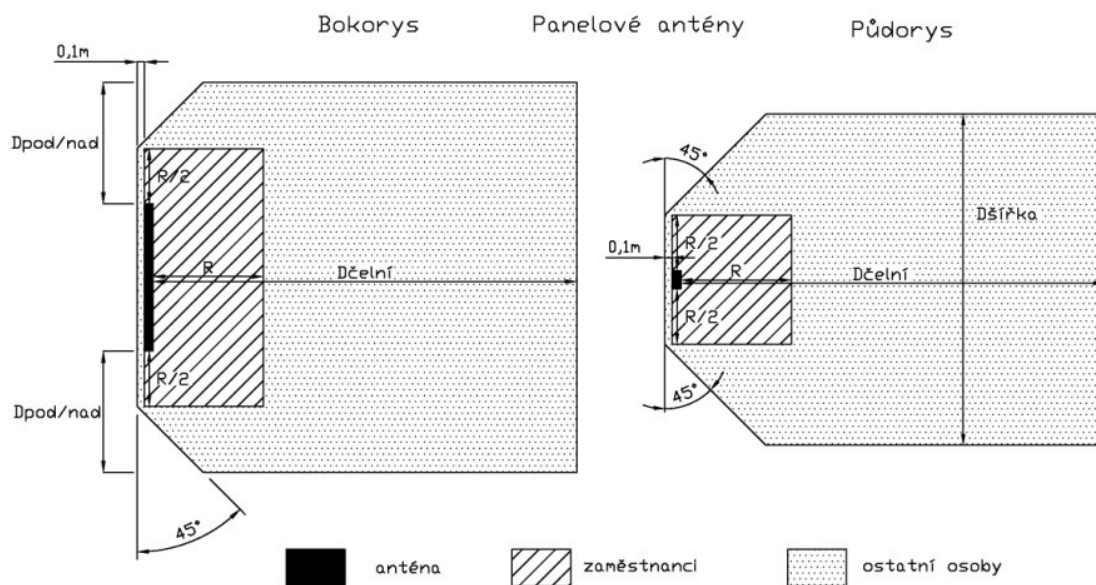
Referenční hodnoty		
Hustota zářivého toku S (W/m <sup>2</sup> )		
Frekvence (f)	Ostatní osoby	Zaměstnanci
10 MHz - 400 MHz	S = 2 W/m <sup>2</sup>	S = 10 W/m <sup>2</sup>
400 MHz - 2 GHz	S = f/2 . 10 <sup>8</sup> W/m <sup>2</sup>	S = f/4 .10 <sup>7</sup> W/m <sup>2</sup>
2 GHz - 300 GHz	S = 10 W/m <sup>2</sup>	S = 50 W/m <sup>2</sup>
Intenzita elektrického pole E (V/m)		
Frekvence (f)	Ostatní osoby	Zaměstnanci
10 MHz - 400 MHz	E= 28 V/m	E= 61 V/m
400 MHz - 2 GHz	E= 1,375.10 <sup>-3</sup> .f <sup>0,5</sup> V/m	E= 3.10 <sup>-3</sup> .f <sup>0,5</sup> V/m
2 GHz - 300 GHz	E= 61 V/m	E= 137 V/m

### 2.3.4 Metodický návod č. 29015/2009

Sjednocující postup při výpočtech EMP je specifikován v *Metodickém návodu* vydaném hlavním hygienikem ČR pod čj.: 29015/2009 [8]. Podle tohoto návodu je potřeba určit rozměry zón s možným překročením referenčních hodnot pro pohyb osob v blízkosti antén. Při použití panelových směrových antén, které se v mobilních sítích vyskytují nejčastěji, jsou oblasti určeny podle obrázků 2.1 a 2.2.



Obrázek 2.1: Axonometrie oblastí shody



Obrázek 2.2: Definice zón s omezením pohybu osob

---

## 3 Mobilní aplikace pro výpočet a návrh konfigurace anténního systému s ohledem na hygienické limity

### 3.1 Výpočet bezpečných zón EMP (elektromagnetického pole) – teorie

Problematiku praktického výpočtu vlivu EMP v okolí základnových stanic zpracovává Metodický pokyn hlavního hygienika [8]. V uvedeném dokumentu je detailně zpracována metodika výpočtu rozměrů zón bezpečného pohybu osob v okolí antén základnové stanice. Výpočet je závislý na vyzařovaném výkonu, umístění antén, typu a parametrů antén a vzájemném ovlivnění antén instalovaných v bezprostřední blízkosti.

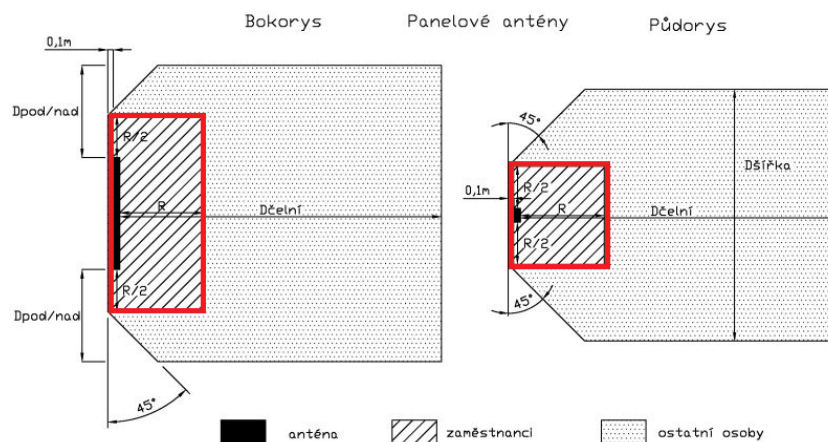
Metodika výpočtu počítá vždy s tou nejhorší možnou expozicí. NV 1/2008Sb. [6] připouští střední relativní chybu výpočtu 12,5%. Pozadí elektromagnetického pole, které by mohlo přispět k celkové expozici před anténami základnové stanice (vzdálené televizní a rozhlasové vysílače, radiolokátory) je zanedbatelné. Eventuální chyba, která se tímto zanedbáním způsobí, je řádově menší než chyba dovolená Nařízením vlády [6]. Výpočet však bere v potaz všechny panelové antény v okolí a to do vzdálenosti 30m. Antény, které jsou dále než 30m nemohou ovlivnit EMP před posuzovanými anténami.

#### 3.1.1 Cíl výpočtu bezpečných zón EMP

Při výpočtu je cílem určit rozměry oblastí s rizikem překročení přípustných hodnot. Vypočtené rozměry vymezují oblasti, ve kterých nelze zaručit, že nebudou překročeny hygienické limity. Neznamená to však, že jsou zde limity překračovány trvale, protože z principu vysílání systému mobilních sítí ani jedna z technologií CDMA, GSM, UMTS, LTE nevysílá maximálně uvedeným výkonem trvale. Může však teoreticky nastat situace, že dojde k určitému časovému okamžiku, kdy všechny systémy mohou vysílat maximálním výkonem a to je moment, kdy může v uvedených zónách dojít k překročení limitů.

Výsledkem výpočtu je určení rozměrů  $R$ ,  $D^{\text{čelní}}$ ,  $D^{\text{šířka}}$  a  $D^{\text{pod/nad}}$  podle *Metodickém návodu* [8].

### 3.1.2 Rozměr R



Obrázek 3.1: Zobrazení rozměru R

Rozměr R (obrázek 3.1) určuje vzdálenost hranice ochranné zóny určené pro zaměstnance operátora a osoby seznámené s provozem základnové stanice. Tento parametr je určen Metodickým návodem vydaným hlavním hygienikem ČR pod č.j.: 29015/2009 [8]. Prostřednictvím výpočtů elektromagnetického pole, beroucí v úvahu i vlastnosti lidského těla, byly pro antény používané v mobilních sítích sestaveny tabulky (viz tabulka číslo 3.1) závislosti výkonu  $P$  [W] na svorkách antény, horizontálního vyzařovacího úhlu antény  $\varphi$  [°] a parametru  $R$  [m].

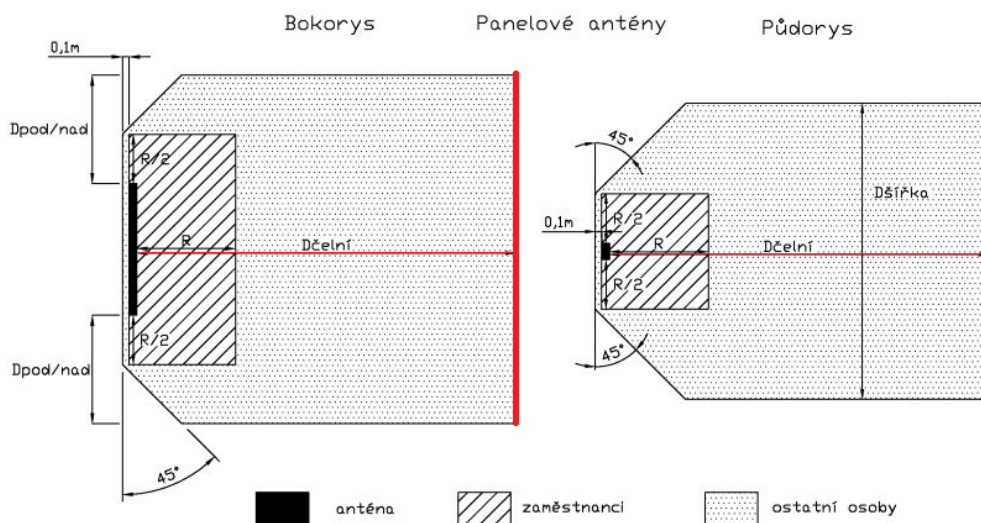
Hlavní rozměr R je určen na základě simulace absorpce výkonu v lidském těle. Model lidského těla byl postaven před anténu do různých vzdáleností a byl zkoumán maximální možný výkon, při kterém ještě nebyly překročeny nejvyšší přípustné hodnoty SAR a to jak pro celé tělo, tak pro tzv. lokální SAR.

Vzhledem k tomu, že vzdálenosti hranice shody od antény byly zjištěny na základě nejvyšších přípustných hodnot SAR (nejvyšší přípustná hodnota měrného absorbovaného výkonu – SAR se nemění v celém frekvenčním pásmu, kde se používají antény na základnových stanicích), vzdálenost hranice shody od antény závisí pouze na výkonu  $P$  přiváděném na konektor antény. Dle tohoto modelu lze posuzovat jen panelové antény užívané mobilními operátory.

Tabulka 3.1: Závislost parametru  $R$  na výkonu  $P$

horizontální úhel $\varphi < 60^\circ$								
P [W]	0-40	40-60	60-80	80-100	100-120	120-140	140-160	160-180
R [m]	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4
horizontální úhel $\varphi > 60^\circ$								
P [W]	0-70	70-120	120-180	180-250	250-300	300-350	350-430	430-500
R [m]	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4

### 3.1.3 $D^{\text{čelní}}$



Obrázek 3.2: Zobrazení rozměru  $D^{\text{čelní}}$

Rozměr  $D^{\text{čelní}}$  (obrázek 3.2) určuje vzdálenost hranice ochranné zóny určené pro ostatní osoby, které se mohou vyskytnout v blízkosti antén a nejsou nijak seznámeny s režimem pohybu kolem anténního systému. Hlavní rozměr hranice shody ( $D^{\text{čelní}}$ ) je vypočten na základě válcově vlnového modelu. Dále od antény je výpočet prováděn pomocí modelu pro vzdálené pole. Ostatní rozměry hranice zóny  $D^{\text{šířka}}$ ,  $D^{\text{nad}}$  a  $D^{\text{pod}}$  pro ostatní osoby jsou odvozeny od tohoto rozměru hlavního.

Hranice shody pro ostatní osoby  $D^{\text{čelní}}$  je určen jako menší z hodnot  $D^{\text{čelní FF}}$  a  $D^{\text{čelní NF}}$ .

$$D^{\text{čelní}} = \min(D^{\text{čelní FF}}; D^{\text{čelní NF}}) \quad (3.1)$$

$D^{\text{čelní FF}}$  – hranice shody pro vzdálené pole (far field) od antény vychází ze vztahu:

$$D^{\text{čelní FF}} = \sqrt{\frac{I_{\text{max}}}{S_{\text{ref}}}} = \sqrt{\frac{P \cdot G}{4 \cdot \pi \cdot S_{\text{ref}}}} \quad (3.2)$$

Kde  $I_{\text{max}}$  je zářivost ve směru maxima vyzařování

$$I_{\text{max}} [\text{W/sr}] = \frac{\text{EIRP}}{4 \cdot \pi} = \frac{P \cdot G}{4 \cdot \pi} = \frac{P \cdot 10^{0,1G \text{ dBi}}}{4 \cdot \pi} \quad (3.3)$$

EIRP – ekvivalentní izotropně vyzářený výkon

$P$  [W] – vysokofrekvenční výkon přiváděný na konektor antény

$G$  [W] – zisk antény ve směru maxima vyzařování

$S_{\text{ref}}$  je referenční úroveň hustoty zářivého toku

$D^{\text{čelní NF}}$  – hranice shody pro blízké pole (near field) od antény vychází ze vztahu:

$$D_{\text{čelní NF}} = \frac{P}{S_{\text{ref}} \cdot L \cdot \varphi \cdot \frac{\pi}{180}} \quad (3.4)$$

$P[W]$  – vysokofrekvenční výkon přiváděný na konektor antény

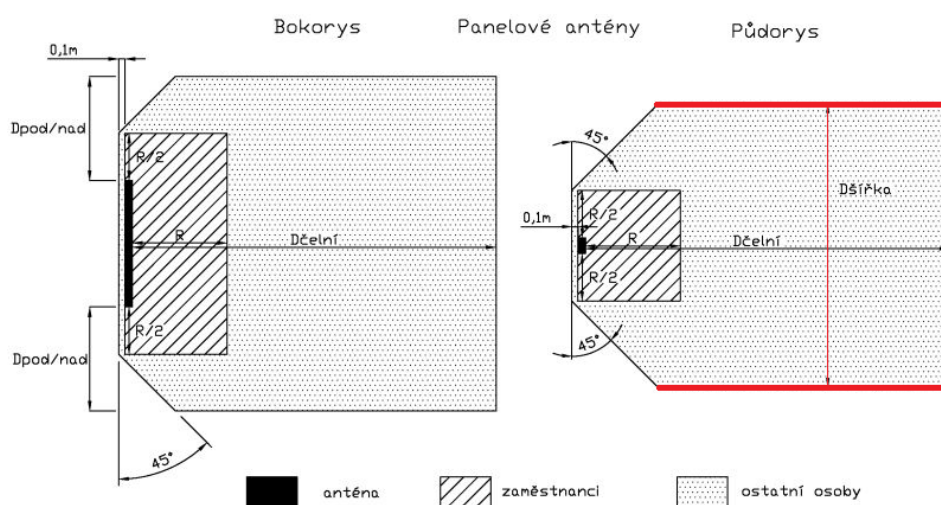
$S_{\text{ref}}$  - referenční úroveň hustoty zářivého toku

$L [m]$  – svislý rozměr antény

$\varphi [^\circ]$  – šířka svazku vyzařovací antény v horizontální rovině pro pokles zářivosti na hodnotu rovnou polovině zářivosti ve směru maxima (pokles 3dB)

$\frac{\pi}{180}$  – šířka svazku je definovaná ve stupních, převod na radiány

### 3.1.4 $D^{\text{šířka}}$



Obrázek 3.3: Zobrazení rozměru  $D^{\text{šířka}}$

Rozměr  $D^{\text{šířka}}$  (obrázek 3.3) určuje rozměry hranice ochranné zóny v půdorysném pohledu na anténu. Je to polovina vzdálenosti od osy směru vyzařování z antény.

Hranice shody pro ostatní osoby  $D^{\text{šířka}}$  je odvozena od hlavního rozměru  $D^{\text{čelní}}$ .

$$D^{\text{šířka}} = 2 \cdot \sin\left(\frac{\varphi}{2} \cdot \frac{\pi}{180}\right) \cdot \frac{D^{\text{čelní}}}{Q} \quad (3.5)$$

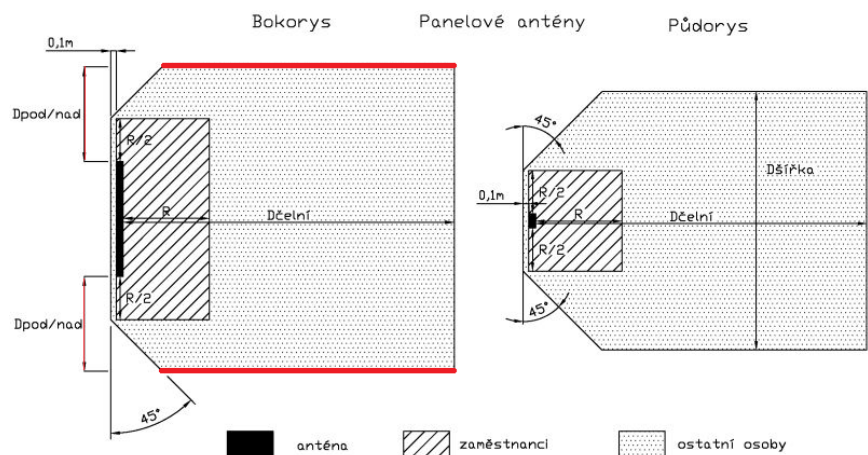
$\varphi [^\circ]$  – šířka svazku vyzařovací antény v horizontální rovině pro pokles zářivosti na hodnotu rovnou polovině zářivosti ve směru maxima (pokles 3dB)

$Q$  – koeficient s hodnotou  $\sqrt{2}$  v případě, že  $D^{\text{čelní}}$  bylo vypočteno ze (vzorec 2) nebo s hodnotou 2 v případě, že  $D^{\text{čelní}}$  bylo vypočteno ze (vzorec 4)

$\frac{\pi}{180}$  – šířka svazku je definovaná ve stupních, převod na radiány



### 3.1.5 $D^{\text{nad}}$ a $D^{\text{pod}}$



Obrázek 3.4: Zobrazení rozměru  $D^{\text{šířka}}$

Rozměr  $D^{\text{nad}}$  a  $D^{\text{pod}}$  (obrázek 3.4) určuje rozměry hranice ochranné zóny v bočním pohledu na anténu. Z hlediska vlivu na okolí antény je obzvláště citlivý rozměr  $D^{\text{pod}}$ , který je nutno hlídat, protože vzhledem k umístění antén na obytných objektech může při určitých konfiguracích a výkonech nastat situace, že hranice zóny zasáhne do obytného prostoru pod anténou, jak ukazuje obrázek číslo 3.5.



Obrázek 3.5: Zóna zasahující do obydlených prostorů



Hranice shody pro ostatní osoby  $D^{\text{nad}}$  a  $D^{\text{pod}}$  je určena jako větší z hodnot:

$$D^{\text{nad/pod}} = \max\left(\frac{R}{2} + 0,1 ; D^{\text{čelní}} \cdot \sin\left(\left(\eta_{\text{tilt}} + \frac{\omega}{2}\right) \cdot \frac{\pi}{180}\right) - \frac{L}{2}\right) \quad (3.6)$$

$R$  [m] – rozměry oblasti, v níž by mohla být překročena nejvyšší přípustná hodnota pro zaměstnance

$\eta_{\text{tilt}}$  [°] – celkový mechanický a elektrický sklon antény

$\omega$  [°] – šířka svazku vyzařovací antény ve vertikální rovině pro pokles zářivosti na hodnotu rovnou polovině zářivosti ve směru maxima (pokles 3dB)

$L$  [m] – svislý rozměr antény

$\frac{\pi}{180}$  – šířka svazku je definovaná ve stupních, převod na radiány

### 3.1.6 Vzájemné ovlivnění antén

Při výpočtu expoziční situace EMP na základnové stanici je nutno k výše uvedeným výpočtům počítat i s ovlivňováním elektromagnetického pole od ostatních antén základnové stanice. Ať už jde o antény stejného systému vysílající do jiných azimutů nebo i o antény jiných systémů vysílajících do stejných azimutů. Limitní vzdálenost dvou antén, jejichž vliv se navzájem zohledňuje je 30m. Nad tuto vzdálenost se se vzájemným vlivem neuvažuje.

Pro výpočet expozice **pro zaměstnance** se sčítají výkony  $P$  antén jednotlivých buněk v závislosti na vzdálenosti umístění antén a jejich vysílacích azimutů určené ve výpočtu koeficientem  $M_{\text{ANT}}$ , který nabývá hodnot nula nebo jedna:

$$P_{\text{celk}} = P_{\text{ANT1}} + P_{\text{ANT2}} \cdot M_{\text{ANT2}} + P_{\text{ANT3}} \cdot M_{\text{ANT3}} + \dots + P_{\text{ANTk}} \cdot M_{\text{ANTk}} \quad (3.7)$$

$P_{\text{CELK}}$  – celkový výkon [W]

$P_{\text{ANT1}}$  – výkon antény 1 [W]

$P_{\text{ANT2}}, P_{\text{ANT3}}, \dots, P_{\text{ANTk}}$  – výkon ostatních antén [W]

$M_{\text{ANT2}}, M_{\text{ANT3}}, \dots, M_{\text{ANTk}}$  – koeficient pro výpočet vlivu [0,1]

Přesný výpočet včetně závislosti určování koeficientu je popsán v Metodickém návodu hl. hygienika [8].

Pro výpočet expozice **pro ostatní osoby** se určují parametry  $D^{\text{čelní}}$ , pro jejichž výpočet je počítáno s vypočtenou vzdáleností  $D^{\text{čelníNF}}$ ,  $D^{\text{čelníFF}}$  pro všechny ovlivňující se antény, vzájemnou polohou antén, jejich směřováním a s koeficientem  $K_{\text{ANT}}$ , nabývající hodnot 0, 0,5 nebo 1.

Parametr  $D^{\text{čelní}}$  je menší z hodnot vypočtených ze vzorců:

$$D^{\text{čelní}} = \sqrt{(D_{\text{ant1}}^{\text{čelníFF}})^2 + K_{\text{ant2}} \cdot (D_{\text{ant2}}^{\text{čelníFF}})^2 + \dots + K_{\text{ant n}} \cdot (D_{\text{ant n}}^{\text{čelníFF}})^2} \quad (3.8)$$

$$D^{\text{čelní}} = D_{\text{ant1}}^{\text{čelníNF}} + K_{\text{ant2}} \cdot D_{\text{ant2}}^{\text{čelníNF}} + \dots + K_{\text{ant n}} \cdot D_{\text{ant n}}^{\text{čelníNF}} \quad (3.9)$$

Z hodnoty  $D^{\text{čelní}}$  jsou následně dopočítány  $D^{\text{šířka}}$ ,  $D^{\text{nad/pod}}$  podle vzorců (3.5) a (3.6).

---

## 3.2 Mobilní aplikace výpočtu bezpečných zón – ElmagCalc for Android

### 3.2.1 Účel mobilní verze aplikace

Účelem mobilní aplikace je umožnění výpočtů bezpečných zón kolem antén operátorů přímo při práci v terénu na střeších budov. Při technickém průzkumu a plánování umístění nových antén nebo při plánování výměn stávajících antén má uživatel možnost na místě budoucí instalace ihned prověřit, zda navržená konfigurace antén neohrožuje zdraví osob pohybujících se v jejich blízkosti. Určí ihned v terénu rozměry bezpečných zón a zobrazí si je v satelitní mapě, čímž porovná návrh s reálnou situací na místě. Podle výsledku se může rozhodnout pro jiné umístění antény na konkrétním objektu, pro volbu jiného typu antény nebo pro redukci plánovaného využití frekvenčních pásem či požadovaného vysílacího výkonu.

Aplikace je určena převážně technikům mobilních operátorů pracujících v pozicích rádiových plánovačů sítí nebo v pozicích osob zodpovědných za výstavbu sítě a její provoz. Častými uživateli mohou být rovněž projektanti dodavatelských projekčních kanceláří, kteří pro operátory zajišťují zpracovávání projektových dokumentací základnových stanic a mimo jiné zodpovídají za dodržení platné legislativy [4], [6], [7].

### 3.2.2 Požadavky na aplikaci a její funkcionalitu

Hlavním požadavkem aplikace je samozřejmě její mobilita. Nebylo by optimálním řešením vyvíjet aplikaci pro notebooky a laptopy, ale cílem je vytvoření aplikace pro mobilní telefony popřípadě tablety. Vzhledem k masivnímu rozšíření operačního systému Android a také vzhledem k jeho vzrůstajícímu podílu na trhu, kdy koncem roku 2014 činil podíl mobilních telefonů se systémem Android více než 81% na trhu [15], je mobilní aplikace navržena právě pro tento operační systém.

Aplikace obsahuje možnost instalace antén všech frekvenčních pásem, které mobilní operátoři v České Republice používají, viz odstavec 2.1 této práce. Antény, s nimiž aplikace dokáže počítat, mohou být instalovány samostatně nebo všechny společně, přestože tato kombinace je málo pravděpodobná.

Důležitou podmínkou při návrhu aplikace je možnost volby konkrétních typů antén různých světových výrobců a počítání s jejich katalogovými parametry. Seznam antén zahrnuje všechny typy antén, které používají tři mobilní operátoři v ČR, a pro další rozšíření tohoto seznamu existuje možnost variability aplikace zareagovat na tuto změnu. Vzhledem k množství dat týkajících se konkrétní antény, se kterými je nutno při výpočtu počítat, by bylo velmi nepraktické zadávat tyto hodnoty v terénu při práci technika na střeších domů. Proto seznam používaných antén bude pravidelně udržován a prostřednictvím aktualizací aplikace bude distribuován uživatelům.

Kromě samotných hodnot rozměrů jednotlivých bezpečných zón je výstupem aplikace zakreslení tvaru těchto zón do satelitní mapy Google Maps zobrazené přímo na displeji mobilního zařízení. Lokalizaci uživatele je zprostředkována mobilním zařízením, které je touto službou vybaveno, prostřednictvím lokalizace A-GPS a GPS.

Aplikace je bezplatná a je volně k dispozici ke stažení prostřednictvím služby Obchod Play. Vyhledat ji lze zadáním hesla ElmagCalc.

### 3.2.3 Zadávání vstupních dat

Po spuštění aplikace v mobilním zařízení se nabízí úvodní obrazovka, v názvosloví Android správně nazývána *activity*, jejíž prostřednictvím je umožněno uživateli postupně definovat až šest antén a jejich parametrů (obrázek 3.6). Kliknutím kdekoliv do pole příslušné antény se zobrazí druhá dialogová obrazovka, v níž se zvolená anténa přesně definuje.

ANT	Model	Frequency	Gain	Power	Max Tilt	Horizontal Tilt	Vertical Tilt
ANT 1	EMS RA80-12-15DE (450 MHz)	450 MHz	10,5 dBi	30,0 W	15,0 °	80,0 °	15,0 °
ANT 2	Huawei ADU-451604 (800 MHz)	800 MHz	16,0 dBi	80,0 W	10,0 °	66,0 °	9,8 °
ANT 3	-----	--- MHz	--- dBi	--- W	--- °	--- °	--- °
ANT 4	-----	--- MHz	--- dBi	--- W	--- °	--- °	--- °
ANT 5	Kathrein 741622 (900 MHz)	900 MHz	17,0 dBi	80,0 W	9,0 °	65,0 °	9,5 °
ANT 6	-----	--- MHz	--- dBi	--- W	--- °	--- °	--- °

Obrázek 3.6: úvodní acitivity

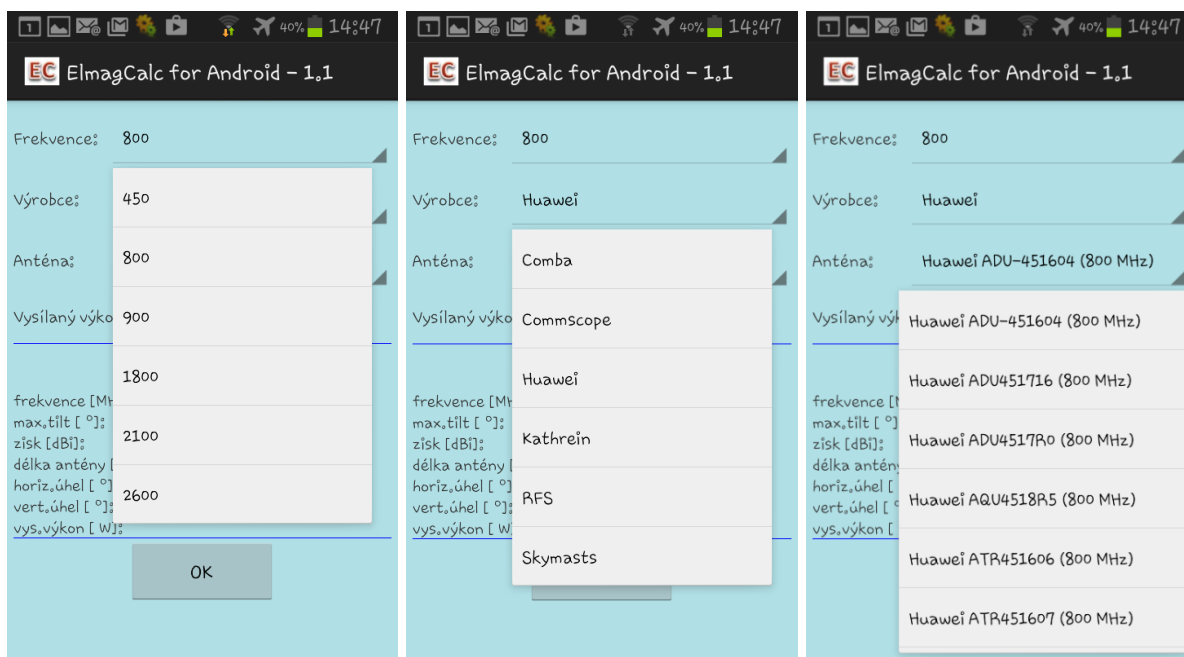
#### Popis řešení v programu Android

Tato funkcionality je v běhu programu aplikace zajištěna syntaxí java třídy *MainActivity.java*, která ihned po spuštění aplikace zavolá třídu *seznam\_anten.java*. Její grafické zobrazení je definováno syntaxí v souboru *seznam\_anten.xml*. Vyvolání nové *activity* je realizováno prostřednictvím *Intentu*, který je pro každou z antén definován samostatně.

```
public void zavolaVyberAnt_1(View view){
    Intent prepnuNaVyber1 = new Intent(seznam_anten.this, vyber_ze_seznamu.class);
    String strCisloAnt = Integer.toString(1);
    prepnuNaVyber1.putExtra("cisloAnteny", strCisloAnt);
    startActivityForResult(prepnuNaVyber1, ACTIVITY_INTENT_RETURNTEXT);
}
```

### 3.2.1 Výběr antény ze seznamu

Zavoláním dialogové obrazovky pro výběr konkrétní antény se zobrazí *activity*, která obsahuje tři rozbalovací pole se seznamy, kterými se z databáze antén vyfiltruje požadovaná anténa (obrázek č. 3.7). Volbou položky v prvním seznamu se zvolí požadované frekvenční pásmo. Následně se ve druhém seznamu nabídnou už pouze výrobci antén, kteří nějakou anténu v daném frekvenčním pásmu mobilním operátorům poskytují. Po zvolení výrobce se zobrazí nabídka třetího seznamu, která obsahuje antény zvoleného výrobce a vyfiltrované pouze pro zvolené frekvenční pásmo.

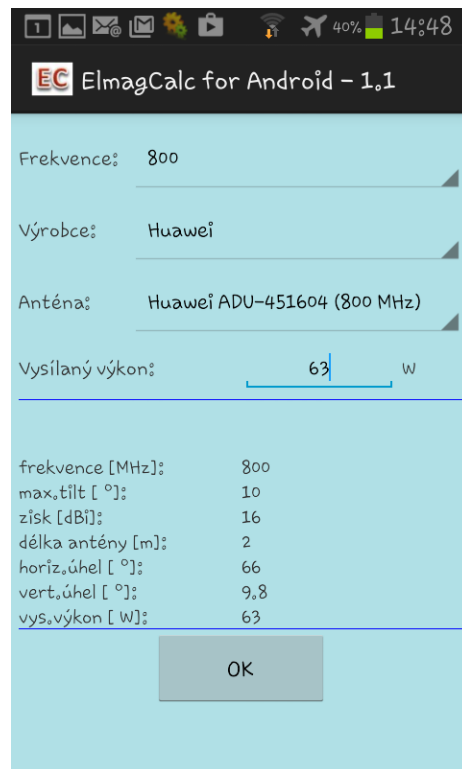


Obrázek 3.7: výběr antény ze seznamu

Pro práci s aplikací je volba typu antény prostřednictvím filtrů uživatelsky velmi důležitá, protože databáze použitých antén, se kterou aplikace pracuje, čítá celkem 612 typů antén od 13 výrobců. Prostým listováním v seznamu antén by bylo velmi pracné konkrétní anténu najít.

Při programování aplikace jsem uvažoval ještě o možnosti zadávání požadovaných parametrů antén, jako je zisk, vertikální a horizontální vyzařovací úhly, rozměry a elektrická náklon, ručně, ale vzhledem k pravděpodobnosti zadání chybných dat a k časové náročnosti práce s aplikací v terénu jsem tuto možnost do aplikace nezahrnul. Databáze antén, s níž aplikace pracuje, reálně odpovídá seznamu antén, který aktuálně všichni mobilní operátoři v ČR ve svých sítích využívají. Po rozšíření tohoto seznamu v budoucnu bude aplikace aktualizována a prostřednictvím služby Obchod Play automaticky distribuována uživatelům prostřednictvím aktualizací.

Databáze antén, s níž aplikace pracuje, zahrnuje ke každé anténě data, která jsou zobrazena na obrázku č. 3.8. Tedy zadanou frekvenci, maximální elektrický tilt, zisk antény, její fyzickou délku a horizontální a vertikální úhel vyzařování. Kromě toho výsledná data obsahují ještě hodnotu vyzařovaného výkonu, která se zadává manuálně z důvodu značné variability tohoto údaje. Předpokládá se znalost problematiky od uživatele aplikace.



Obrázek 3.8: Data vybrané antény

### ***Popis řešení v programu Android***

Aplikace ve své distribuci prostřednictvím Obchod Play obsahuje databázi antén ve formátu SQLite. Databáze obsahuje záhlaví sloupců s daty. Při spuštění požadavku na zobrazení *activity* *vyber\_ze\_seznamu.xml* se zavolá třída *DatabaseConnector.java*, která v metodě *openDatabase()* otevře *SQLite* databázi

```
public void openDataBase() {  
    try {  
        //Open the database  
        String myPath = DB_PATH + DB_NAME;  
        DB = SQLiteDatabase.openDatabase(myPath, null, SQLiteDatabase.OPEN_READWRITE);  
    }  
}
```

Prostřednictvím metody *copydatabase()* se zkopírují data do bufferu a nadále s nimi aplikace pracuje z této vnitřní paměti.

```
private void copyDataBase() throws IOException{

    InputStream myInput = null;
    OutputStream myOutput = null;

    try {
        myInput = myContext.getAssets().open(DB_NAME);
        String outFileName = DB_PATH + DB_NAME;
        myOutput = new FileOutputStream(outFileName);

        byte[] buffer = new byte[1024];
        int length;
        while ((length = myInput.read(buffer))>0){
            myOutput.write(buffer, 0, length);
        }
    }
}
```

Prohledávání databáze probíhá prostřednictvím SQLite dotazů. Reakce na výběr z prvního seznamu prohledává databázi nazvanou *ciselnik* podle pole s názvem *frekvence* a výsledek seřadí vzestupně podle pole *frekvence*.

```
Cursor cursor = DB.rawQuery("SELECT frekvence FROM ciselnik GROUP BY frekvence ORDER BY frekvence ASC", null);
```

Druhý seznam prohledá databázi *ciselnik* vyfiltrovanou podle hodnoty *frekvence* a seřadí výsledky vzestupně podle pole *vyrobce*.

```
Cursor cursor = DB.rawQuery("SELECT vyrobce FROM ciselnik WHERE frekvence=? GROUP BY vyrobce", new String[] { band });
```

Třetí seznam prohledá databázi *ciselnik* vyfiltrovanou podle předchozích dvou seznamů a seřadí výsledky vzestupně podle *frekvence* a *výrobce*.

```
Cursor cursor = db.rawQuery("SELECT celkovyNazev FROM ciselnik WHERE vyrobce=? AND frekvence=?", new String[] { manufacturer, band });
```

Poslední SQLite příkaz zajistí načtení dat ke zvolené anténě, která je definovaná proměnnou *polozka*.

```
String vyberZDatabase = "SELECT " + polozka + " FROM ciselnik WHERE celkovyNazev=?";
```

Vložená hodnota výkonu je uložena jako proměnná *vykonAnteny*

```
public void onTextChanged(CharSequence stOdb, int start, int before, int count) {

    String vystup0= stOdb.toString();
    if(vystup0 == null || vystup0.trim().equals("")){return;}
    vykonAnteny = Double.valueOf(vystup0);
    ((TextView)findViewById(R.id._VykonTV)).setText(vystup0);
}
```

### 3.2.2 Výpočet zón

Okamžitě po potvrzení zadané antény tlačítkem *OK* (obrázek 3.8) dochází v běhu programu k přepočtu rozměrů bezpečných zón. Hodnoty jsou přepočítávány jednak pro konkrétní anténu, ale současně jsou posuzovány i vlivy ostatních antén, které byly zadány dříve.

---

### Popis řešení programu Android

Výpočty jsou realizovány ve třídě *seznam\_anten.java*. Kompletní programovací kód třídy je součástí přílohy A této diplomové práce.

Rozměr  $R$  je určen cyklem *If – ElseIf*

```
public void vypocet_R (){ //výpočet rozměru R
    rozmerR = 0;

    if (DOUBLEhorizontal > 0 && DOUBLEhorizontal <= 60){
        if (DOUBLEvykonAnteny <= 40){
            rozmerR = 0.5;
        }
        else if (DOUBLEvykonAnteny > 40 && DOUBLEvykonAnteny <= 60){
            rozmerR = 1;
        }
    }
}
```

Rozměr  $D^{čelní}$  je vypočten matematickým vzorcem a určen jako menší hodnota z  $D_{čelníFF}$  a  $D_{čelníNF}$

```
public void vypocet_Dcelni (){
    double EIRP = DOUBLEvykonAnteny * (Math.pow(10, (DOUBLEzisk/10)));
    double zar = EIRP / (Math.PI * 4);
    DcelniFF = Math.sqrt(zar/Sref);
    DcelniNF = (DOUBLEvykonAnteny / (Sref * DOUBLEedelka * DOUBLEhorizontal * (Math.PI / 180) ));
    Dcelni = Math.min(DcelniFF, DcelniNF);
}
```

Rozměr  $D^{šířka}$  je vypočten matematickým vzorcem z rozměru  $D^{čelní}$  a  $Q$  parametru

```
public void vypocet_Dsirka (){
    vypocet_Dcelni ();

    Dsirka = (2* Math.sin((DOUBLEhorizontal/2)* (Math.PI / 180)) * (Dcelni/Qparametr));
}
```

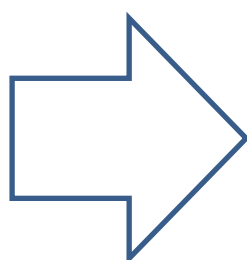
Rozměr  $D^{pod/nad}$  je následně vypočten z rozměru  $D^{čelní}$  opět matematickými vzorci

```
public void vypocet_Dpod (){
    vypocet_Dcelni ();
    double vypocetSin = Math.sin((DOUBLEtilt+(DOUBLEvertical/2))*(Math.PI/180));
    Dpod = Math.max((rozmerR/2)+0.1, (Dcelni * vypocetSin - (DOUBLEedelka/2)));
}
```

### 3.2.3 Výsledná tabulka rozměrů zón

Průběžně, během zadávání jednotlivých antén, se na úvodní obrazovce v její spodní části zobrazují výsledné hodnoty, tedy rozměry jednotlivých zón, jak ukazuje obrázek č. 3.9. Uživatel může rozměry zón průběžně ovlivňovat změnou typu antény, jejího vysílacího výkonu popř. jejím úplným vyřazením ze seznamu plánovaných antén.

Pro vizualizaci tvaru a rozměrů zón je zde možnost prostřednictvím tlačítka „zobrazit v mapě“ zobrazit další *activity*, která zobrazí aktuální situaci v mapách Google.



ElmagCalc for Android - 1.1		
frekvence: 1800 MHz	zisk: 18,1 dBi	výkon: 80,0 W
max.tilt: 8,0 °	horizontal: 61,0 °	vertical: 5,3 °
ANT 4: Huawei ADU-451604 (2100 MHz)		
frekvence: 2100 MHz	zisk: 18,5 dBi	výkon: 100,0 W
max.tilt: 8,0 °	horizontal: 60,0 °	vertical: 4,9 °
ANT 5: Huawei ATR451607 (2600 MHz)		
frekvence: 2600 MHz	zisk: 18,2 dBi	výkon: 63,0 W
max.tilt: 10,0 °	horizontal: 60,0 °	vertical: 4,3 °
ANT 6: Kathrein 741516 (450 MHz)		
frekvence: 450 MHz	zisk: 15,0 dBi	výkon: 18,0 W
max.tilt: 0,0 °	horizontal: 65,0 °	vertical: 18,0 °
<b>Výsledné hodnoty zón vlivu:</b>		
Rozměr R (zaměstnanci):	3,5	m
Rozměr D-čelní:	16,64	m
Rozměr D-šířka:	12,82	m
Rozměr D-pod/nad:	4,12	m
zobrazit v mapě		

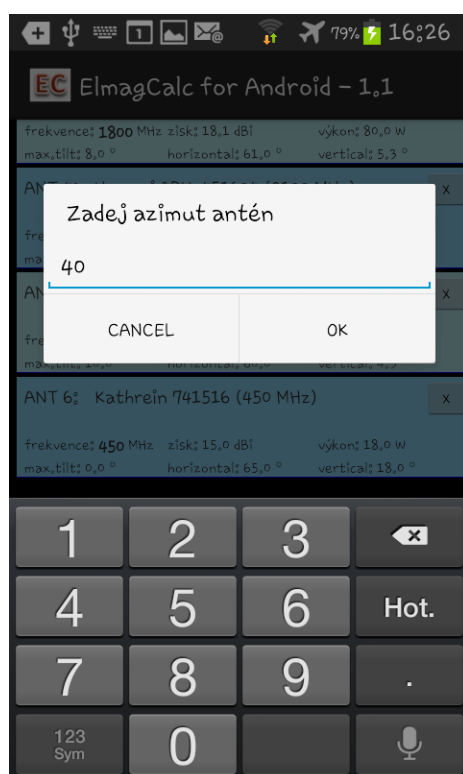
Obrázek 3.9: Výsledná tabulka dat

### 3.2.4 Zákres výsledných zón do Google mapy

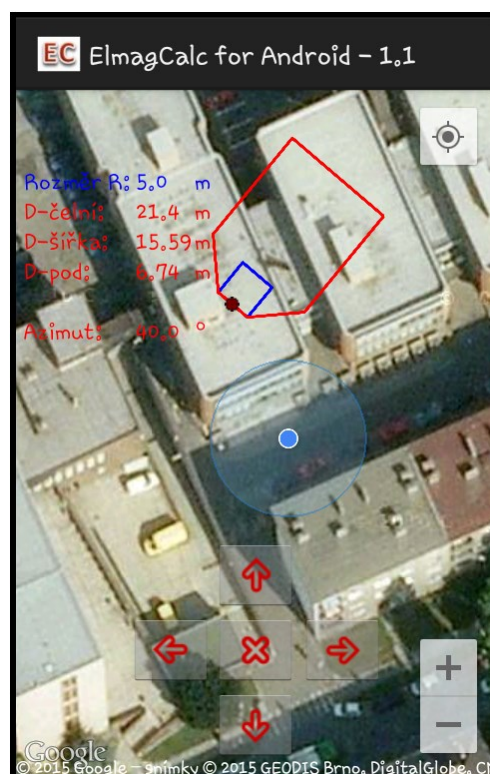
Po stisku tlačítka „zobrazit v mapě“ je uživatel vyzván k zadání azimutu vyzařování antén (obrázek 3.10). Po manuálním vložení požadovaného azimutu se spustí *activity*, která lokalizuje uživatele a jeho mobilní zařízení dle GPS souřadnic. Po lokalizaci nejdříve dle A-GPS a po načtení dat ze satelitů i podle GPS načte online z internetu příslušné mapové podklady pro satelitní mapu Google maps a podle předem vypočtených rozměrů zón tyto zakreslí do mapy se středem v místě, kde se uživatel nachází (obrázek 3.11). Předpokládá se tedy, že uživatel aplikaci využívá při práci v terénu a na konkrétním zájmovém místě.

Důležitými předpoklady pro využití této funkcionality aplikace a vůbec aplikace jako takové, je přístup mobilního zařízení k internetu a vybavení zařízení lokalizací polohy podle GPS. Požadavek na toto vybavení má aplikace naprogramován v tzv. *manifestu*, což má za následek, že služba Google Play tuto aplikaci nenabídne k instalaci na zařízení, které takto vybavené není.





Obrázek 3.10: Zadání azimutu



Obrázek 3.11: Zobrazení v mapě

### Popis řešení v programu Android

Využití podkladových map pro funkčnost aplikace vyžaduje programové zásahy do jádra aplikace do souboru AndroidManifest.xml. Zde je nutno definovat povolení přístupu na internet, povolení k lokalizaci zařízení pomocí mobilní sítě, pomocí GPS a přístup ke Google mapám.

```
<uses-permission android:name="android.permission.READ_EXTERNAL_STORAGE" />
<uses-permission android:name="android.permission.WRITE_EXTERNAL_STORAGE"/>

<uses-permission android:name="android.permission.INTERNET"/>
<uses-permission android:name="android.permission.ACCESS_NETWORK_STATE"/>
<uses-permission android:name="com.google.android.providers.gsf.permission.READ_GSERVICES"/>
<uses-permission android:name="android.permission.ACCESS_COARSE_LOCATION"/>
<uses-permission android:name="android.permission.ACCESS_FINE_LOCATION"/>
```

Aplikaci je nutno zaregistrovat na službách Google a přiřadit ji příslušný vygenerovaný API\_KEY, bez něhož přístup k mapám nefunguje.

```
<meta-data
    android:name="com.google.android.maps.v2.API_KEY"
    android:value="AIzaSyAx6cHAJtf0-gaGEqcY-_ijLHV0WZxbA6A"
/>
<meta-data
    android:name="com.google.android.gms.version"
    android:value="@integer/google_play_services_version"
/>
```

```
private void setUpMapIfNeeded() {  
  
    if (mMap == null) {  
        mMap = ((MapFragment) getFragmentManager().findFragmentById(R.id.map)).getMap();  
        mMap.setMyLocationEnabled(true);  
    }  
}
```

```
public void onMyLocationChange(Location arg0) {
    MojePolohaBezGPS = new LatLng(arg0.getLatitude(), arg0.getLongitude());
    if (ManualChange != true){
        mMap.moveCamera(CameraUpdateFactory.newLatLng(MojePolohaBezGPS));
        mLat = arg0.getLatitude();
        mLng = arg0.getLongitude();
    }
}
```

```
mMap.addPolyline(new PolylineOptions().geodesic(true)
    .add(new LatLng(mLat + posunLAT, mLng + posunLNG)) // start
    .add(new LatLng(mLat + posunLAT + bod1_LAT, mLng + posunLNG + bod1_LON)) // bod1
    .add(new LatLng(mLat + posunLAT + bod5_LAT, mLng + posunLNG + bod5_LON)) // bod5
    .add(new LatLng(mLat + posunLAT + bod5_LAT + bod6_LAT, mLng + posunLNG + bod5_LON + bod6_LON)) // bod5
    .width(3)
    .color(Color.RED)
);
```

---

23

propočítáváno přičtením či odečtením příslušné hodnoty vyjadřující vzdálenost v metrech k základní souřadnici LON nebo LAT. To, zda se hodnota vzdálenosti k souřadnici LON či LAT přičítá či odečítá, závisí na zadaném azimutu směřování vyzařování antény. V programu je to zajištěno násobením koeficientem dle příslušného kvadrantu, v jehož směru anténa směřuje.

```
if (azimutAnteny >= 0 && azimutAnteny < 90){
// LAT + ; LON +
    koefLAT = 1;
    koefLON = 1;
    kvadrant = 1;

}else if (azimutAnteny >= 90 && azimutAnteny < 180){
// LAT - ; LON +
    koefLAT = -1;
    koefLON = 1;
    kvadrant = 2;

}else if (azimutAnteny >= 180 && azimutAnteny < 270){
// LAT - ; LON -
    koefLAT = -1;
    koefLON = -1;
    kvadrant = 3;

}else if (azimutAnteny >= 270 && azimutAnteny < 360){
// LAT + ; LON -
    koefLAT = 1;
    koefLON = -1;
    kvadrant = 4;
```

Podle příslušného kvadrantu se následně vypočte umístění jednotlivých bodů mnohoúhelníku v mapě.

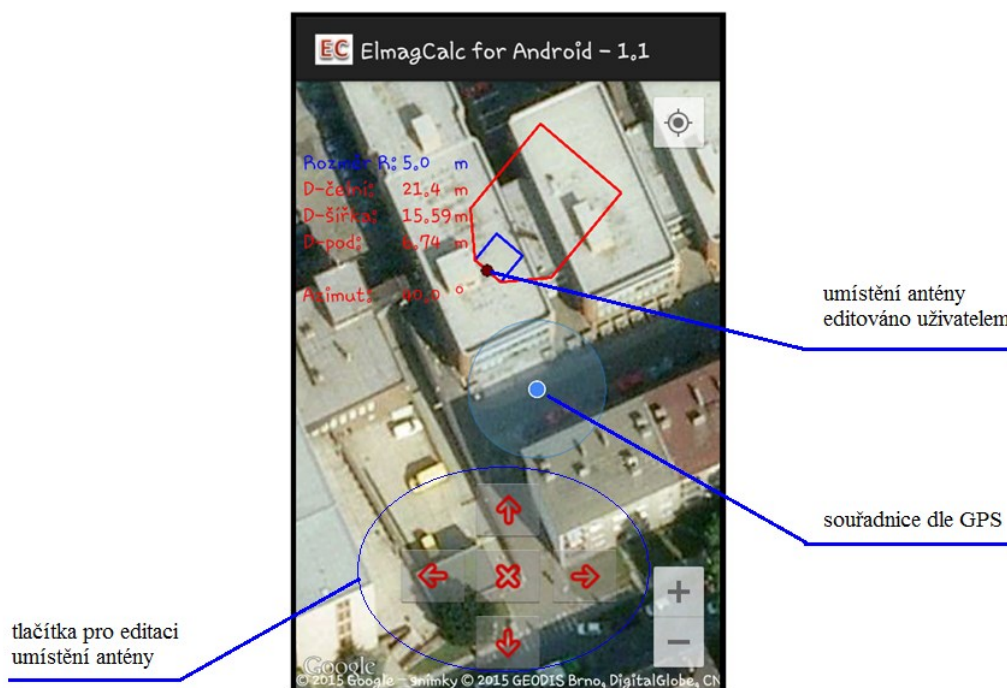
```
if (kvadrant == 1){
    bod1_LAT = Math.sin(azAntPlus90RAD)*(hodnotaR2plus * koefLAT * (-1) * koefWGSLAT);
    bod1_LON = Math.cos(azAntPlus90RAD)*(hodnotaR2plus * koefLON * (1) * koefWGSLON);
} else if (kvadrant == 2){
    bod1_LAT = Math.cos(azAntPlus90RAD)*(hodnotaR2plus * koefLAT * (1) * koefWGSLAT);
    bod1_LON = Math.sin(azAntPlus90RAD)*(hodnotaR2plus * koefLON * (-1) * koefWGSLON);
} else if (kvadrant == 3){
    bod1_LAT = Math.sin(azAntPlus90RAD)*(hodnotaR2plus * koefLAT * (-1) * koefWGSLAT);
    bod1_LON = Math.cos(azAntPlus90RAD)*(hodnotaR2plus * koefLON * (1) * koefWGSLON);
} else if (kvadrant == 4){
    bod1_LAT = Math.cos(azAntPlus90RAD)*(hodnotaR2plus * koefLAT * (1) * koefWGSLAT);
    bod1_LON = Math.sin(azAntPlus90RAD)*(hodnotaR2plus * koefLON * (-1) * koefWGSLON);
}
```

### 3.2.5 Upřesnění lokalizace antén na mapě

V průběhu testování aplikace v reálných podmínkách jsem zjistil, že použití výsledků aplikace zobrazených na mapách je problematické, protože mobilní telefon se v pravidelných krátkých intervalech snaží upřesnit svou polohu podle stavu signálu GPS a střed mapy včetně zakreslených bezpečných zón se posouval podle toho, jak přístroj vyhodnotil aktuální souřadnice. Projevila se zde nepřesnost GPS systému v řádech metrů a nebylo možno umístit střed pomyslné antény přesně na místo v mapě, kam to bylo žádoucí. Rozptýl několika metrů znehodnocoval zakreslené výsledky.

Z tohoto důvodu jsem ve verzi aplikace 1.1 doprogramoval tlačítka pro upřesnění umístění plánované antény v mapě. Kliknutím na jednu ze směrovacích šipek aplikace přestane reagovat na

souřadnice získané GPS čidlem přístroje, mapový podklad přestane centrovat podle takto získaných souřadnic a zakreslené bezpečné zóny posouvá ve směru šipky o 0,5m na každé kliknutí. Takto lze posunout plánovanou anténu až na skutečné místo, kam uživatel anténu umístit potřebuje. Pro potřebu zaměření souřadnic GPS je možno posun antény vrátit středním tlačítkem „X“. Ovládací prvky a popis situace jsou zakresleny v obrázku 3.13.



Obrázek 3.13: Ovládací prvky posunu obrazu zón

### Popis řešení programu Android

V programu je posun řešen jednoduchou matematickou úpravou, kdy se k původnímu centrálnímu bodu mapy, získanému prostřednictvím souřadnic GPS, postupně přičítá či odečítá koeficient, který bod posouvá o cca 0,5m daným směrem.

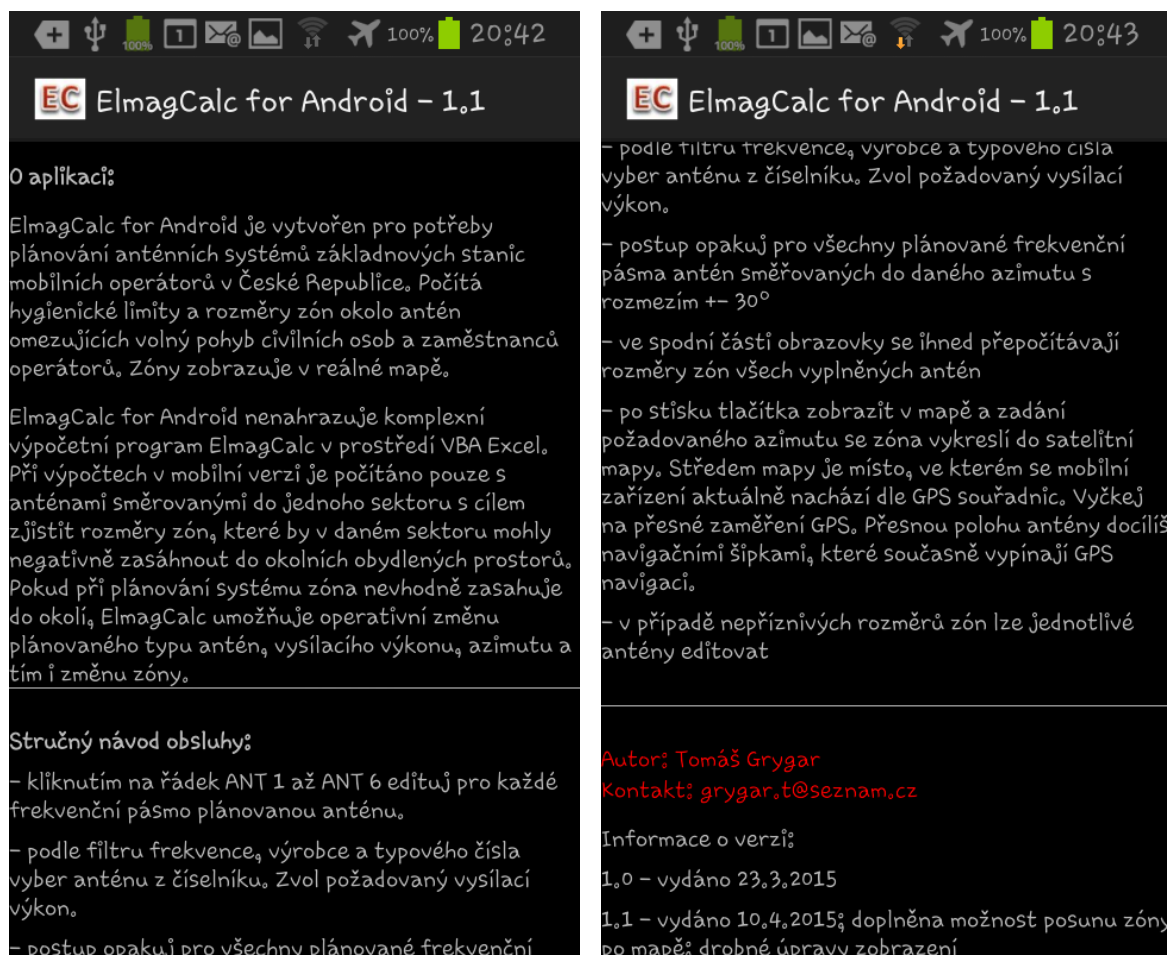
```
buttonUP = (ImageButton) findViewById(R.id.MapsImgBtnUp);
buttonUP.setOnClickListener(new View.OnClickListener() {
    public void onClick(View v) {
        ManualChange = true;
        posunLAT = posunLAT + 0.000005;
        setUpMap();
    }
});
```

### 3.2.6 O aplikaci

Aplikaci jsem pojmenoval **ElmagCalc for Android**, kdy jsem vycházel z názvu aplikace vytvořené v prostředí VBA Excel ElmagCalc, která je prostřednictvím Asociace provozovatelů mobilních sítí používána všemi operátory v ČR právě pro výpočty bezpečných zón. Tato aplikace je ale dostupná pouze na stolních počítačích. Mobilní aplikace sice na tuto aplikaci nijak nenavazuje ani

jí nijak nevyužívá, ale protože výsledné rozměry zón se musí shodovat, jelikož obě vycházejí ze stejných legislativních podkladů, zvolil jsem obdobný název i pro mobilní aplikaci.

Po stisku tlačítka „o aplikaci“ v záhlaví úvodní obrazovky aplikace se zobrazí textové informace stručně popisující účel a funkčnost aplikace. Je zde krátký návod k použití a kontakt na autora společně s informacemi o vydaných verzích a změnách. Text je zobrazen na obrázku 3.14.



Obrázek 3.14: text „O aplikaci“

Aplikace je umístěná volně ke stažení prostřednictvím obchodu s digitálním zbožím společnosti Google Obchod Play. Tento systém distribuce je přístupný většině mobilních telefonů vybavených systémem Android. Prostřednictvím této služby je možno aplikaci kdykoliv aktualizovat na novou verzi a distribuovat jí uživatelům přímo do jejich zařízení. Aplikaci lze snadno vyhledat zadáním ElmagCalc do vyhledávače Obchod Play.

---

## 4 testování a odladění aplikace v reálných podmínkách

Testování aplikace probíhalo nesčetněkrát v průběhu samotného programování. Každou novou naprogramovanou funkcionalitu bylo nutno vyzkoušet a otestovat. Testování probíhalo v místě, kde se zrovna mobilní telefon s nainstalovanou aplikací nacházel. Pro testování ve fázi programování bylo použito mobilního telefonu Samsung Galaxy S3 mini, který v menu telefonu umožňuje ladění přes USB, což znamená, že aplikace se při každém testu instaluje přímo do mobilního telefonu a průběh běhu aplikace lze sledovat ve vývojovém prostředí. Během ladění aplikace reaguje na reálné podmínky a prostřednictvím mobilní sítě stahuje podkladové mapy Google a zaměřuje polohu přes GPS senzor mobilního telefonu.

V průběhu programování aplikace jsem jednotlivé funkcionality zkoušel na mnoha místech v terénu. Kromě telefonu Samsung GalaxyS3 mini jsem testoval i s telefonem Samsung Galaxy S5 mini, Samsung Galaxy Ace a s tabletem Samsung GALAXY Tab 2 10.1.

Aplikaci ve verzi 1.0 jsem poskytl k testování technikům výstavby a plánování sítě společnosti O2 Czech Republic a.s. Na základě jejich zpětné vazby jsem do verze 1.1, která je předmětem této diplomové práce, dopracoval možností centrování místa s umístěním antény na zobrazené mapě, jak jsem popsal v kapitole 3.2.5.

Aplikaci ve verzi 1.1 jsem mimo jiné otestoval v reálných podmínkách při srovnávání výsledků s naměřenými hodnotami a výsledky tohoto testování jsou uvedeny v následující kapitole 5.



---

## 5 porovnání výstupu aplikace s naměřenými hodnotami

### 5.1 Měření intenzity elektromagnetického pole

Pro srovnání výstupu aplikace s naměřenými hodnotami jsem využil měření elektromagnetického pole v okolí anténního systému základnové stanice na bytovém domě v Brně, na ulici Langrova 1b, zobrazené na obrázku 5.1. Měření na této základnové stanici vyžadovali obyvatelé domu a provedla ho akreditovaná hygienická laboratoř Zdravotnický ústav se sídlem v Ostravě dne 26. 3. 2015. Protokol z měření je přílohou B této diplomové práce.



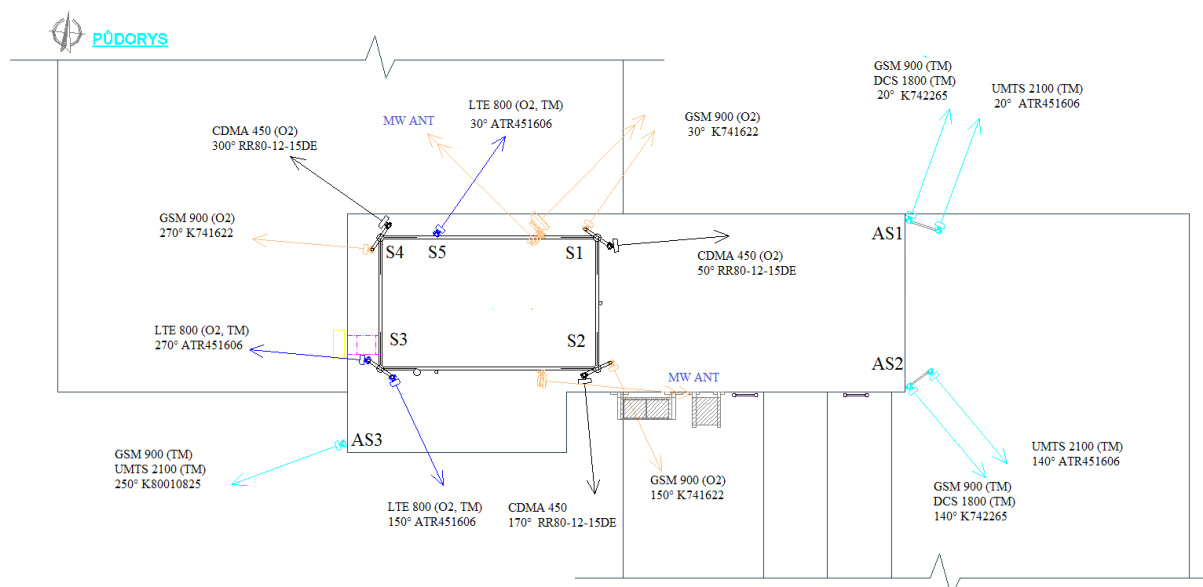
Obrázek 5.1: základnová stanice Brno, Langrova 1b

Měření bylo provedeno během běžného provozu základnových stanic v odpoledních hodinách měřicím přístrojem intenzity pole EMR-300 (obrázek 5.2) se sondou typu 8.2 pro frekvenční rozsahy 100 kHz – 30 GHz.



Obrázek 5.2. měření intenzity pole přístrojem EMR-300

Na střeše tohoto domu se nachází společně základnové stanice O2 a T-Mobile. Z fragmentu projektové dokumentace na obrázku 5.3 lze vyčíst, že jsou zde instalovány mobilní systémy CDMA 450 MHz (O2), LTE 800 MHz (O2 a T-Mobile), GSM 900 MHz (O2 a T-Mobile) a UMTS 2100 MHz (T-Mobile).



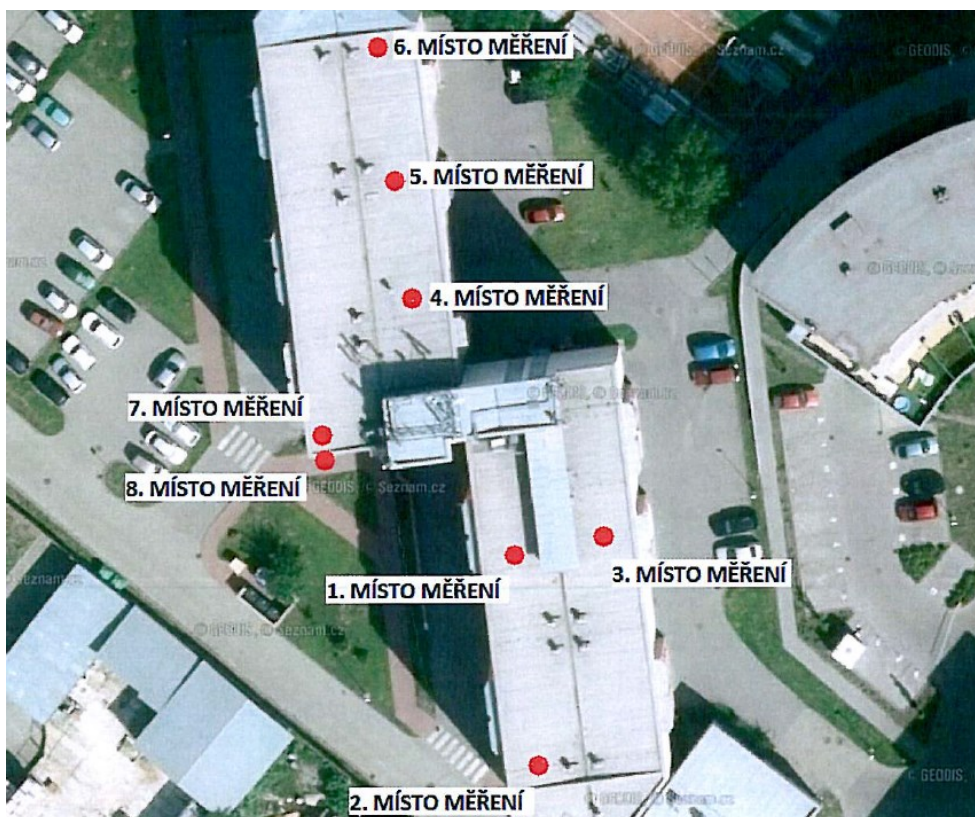
Obrázek 5.3: BTS Brno, Langrova 1b – anténní konfigurace

## 5.2 Výsledky měření EMP

Na střeše domu bylo provedeno celkem osm měření a další čtyři potom byly provedeny v bytech pod základnovou stanicí. Na obrázku 5.4 jsou zakreslena místa na střeše, kde byla měření provedena.

Výsledky měření, které jsou součástí protokolu v příloze B této práce, ukázaly jako místa s největší intenzitou pole měřící místa č. 3, 7 a 8. V těchto třech místech byla naměřena intenzita pole 29 V/m v případě měření č. 3 a 7 a 33,2 V/m v případě měření č. 8. Limitní hodnota úrovně pole, která neznámá nebezpečí pro obyvatelstvo je 28 V/m (podle tabulky 2.2). V těchto třech případech je tedy limitní hodnota překročena, což znamená, že zde nesmí mít přístup osoba, která s touto skutečností není seznámena [7].





Obrázek 5.4: BTS Brno, Langrova 1b – místa měření

### 5.3 Srovnání výsledků měření a výstupů aplikace

Pro možnost srovnání výsledku měření výstupů aplikace jsem zvolil místa měření, kde došlo při měření k překročení limitních hodnot. Tato místa musí být ve výsledku aplikace zakreslena jako místa uvnitř mnohoúhelníku vymezujícího zónu bezpečného pohybu osob.

#### 5.3.1 Srovnání měření č. 3

Pro porovnání výpočtu aplikace s měřením č. 3 jsem do aplikace zadal antény, které se vyskytují na stožárech S2, S3 a AS2 podle obrázku 5.3. Rozdíl ve vysílacích azimutech těchto antén není více než  $20^\circ$  a jejich vzdálenost není větší než 30m, takže podle kapitoly 3.1.6 je nutno je všechny zahrnout ve vstupech aplikace.

Zadání konfigurace antén je znázorněno na obrázku 5.5

ANT 1: EMS RR80-12-15DE (450 MHz)	X
frekvence: 450 MHz    zisk: 10,5 dBi    výkon: 36,0 W	
max_tilt: 15,0 °    horizontal: 80,0 °    vertical: 15,0 °	
ANT 2: Kathrein 741622 (900 MHz)	X
frekvence: 900 MHz    zisk: 17,0 dBi    výkon: 80,0 W	
max_tilt: 9,0 °    horizontal: 65,0 °    vertical: 9,5 °	
ANT 3: Kathrein 742265 (900 MHz)	X
frekvence: 900 MHz    zisk: 16,0 dBi    výkon: 80,0 W	
max_tilt: 10,0 °    horizontal: 65,0 °    vertical: 10,6 °	
ANT 4: Huawei ATR451606 (800 MHz)	X
frekvence: 800 MHz    zisk: 15,9 dBi    výkon: 126,0 W	
max_tilt: 10,0 °    horizontal: 65,0 °    vertical: 10,1 °	
ANT 5: Kathrein 742265 (1800 MHz)	X
frekvence: 1800 MHz    zisk: 18,5 dBi    výkon: 80,0 W	
max_tilt: 6,0 °    horizontal: 65,0 °    vertical: 4,8 °	
ANT 6: Huawei ATR451606 (2100 MHz)	X
frekvence: 2100 MHz    zisk: 18,0 dBi    výkon: 100,0 W	
max_tilt: 10,0 °    horizontal: 62,0 °    vertical: 5,4 °	

Obrázek 5.5: zadání dat k měření č.3

Výsledkem výpočtu aplikace jsou rozměry hranice bezpečných zón:

$$D^{\text{čelní}} = 18,47\text{m}$$

$$D^{\text{šířka}} = 16,79\text{m}$$

$$R = 5\text{m}$$

$$D^{\text{pod/nad}} = 5,87\text{m}$$

Po zakreslení do map dle obrázku 5.6 je patrný **závěr** srovnání výstupů aplikace a naměřených hodnot: **na měřeném místě č. 3 došlo podle měření k překročení limitních hodnot intenzity elektromagnetického pole. Tuto skutečnost potvrdil i výstup aplikace, protože se místo nachází uvnitř vykreslené zóny, v níž hrozí riziko poškození zdraví osob.**



Obrázek 5.6: výstup aplikace pro měření č.3

### 5.3.2 Srovnání měření č. 7 a 8

Pro porovnání výpočtu aplikace s měřeními č. 7 a 8 je do aplikace potřeba zadat antény, které se vyskytují na stožárech S3, S4 a AS3 podle obrázku 5.3. Rozdíl ve vysílacích azimutech těchto antén není více než  $50^\circ$  a jejich vzdálenost není větší než 30m, takže podle kapitoly 3.1.6 je nutno je všechny zahrnout ve vstupech aplikace.

Zadání konfigurace antén je znázorněno na obrázku 5.7

ANT 1: Kathrein 80010825 (900 MHz) <span>X</span>		
frekvence: 900 MHz	zisk: 16,0 dBi	výkon: 80,0 W
max_tilt: 10,0 °	horizontal: 65,0 °	vertical: 10,7 °
ANT 2: Kathrein 738445 (2100 MHz) <span>X</span>		
frekvence: 2100 MHz	zisk: 6,0 dBi	výkon: 100,0 W
max_tilt: 0,0 °	horizontal: 65,0 °	vertical: 13,0 °
ANT 3: Huawei ATR451606 (800 MHz) <span>X</span>		
frekvence: 800 MHz	zisk: 15,9 dBi	výkon: 63,0 W
max_tilt: 10,0 °	horizontal: 65,0 °	vertical: 10,1 °
ANT 4: Kathrein 741622 (900 MHz) <span>X</span>		
frekvence: 900 MHz	zisk: 17,0 dBi	výkon: 80,0 W
max_tilt: 9,0 °	horizontal: 65,0 °	vertical: 9,5 °
ANT 5: EMS RR80-12-15DE (450 MHz) <span>X</span>		
frekvence: 450 MHz	zisk: 10,5 dBi	výkon: 36,0 W
max_tilt: 15,0 °	horizontal: 80,0 °	vertical: 15,0 °
ANT 6: ----- <span>X</span>		
frekvence: --- MHz	zisk: --- dBi	výkon: --- W
max_tilt: --- °	horizontal: --- °	vertical: --- °

Obrázek 5.7: zadání dat k měření č. 7 a 8

Výsledkem výpočtu aplikace jsou rozměry hranice bezpečných zón:

$$D^{\text{čelní}} = 13,97 \text{ m}$$

$$D^{\text{šířka}} = 12,7 \text{ m}$$

$$R = 3,5 \text{ m}$$

$$D^{\text{pod/nad}} = 4,15 \text{ m}$$

Po vykreslení zón v mapě podle obrázku 5.8 je i v tomto případě patrný stejný **závěr** srovnání výstupů aplikace a naměřených hodnot: **na měřených místech č. 7 a 8 došlo podle měření k překročení limitních hodnot intenzity elektromagnetického pole. Tuto skutečnost potvrdil i výstup aplikace, protože se místa nachází uvnitř zóny, v níž hrozí riziko poškození zdraví osob.**



---

## 6 Závěr

Touto prací jsem v její první části zmapoval problematiku hygienických limitů mobilních sítí v České Republice s ohledem na platnou legislativu. Popsal jsem přesnou metodiku výpočtů zón v okolí antén mobilních operátorů, kde je pohyb osob nežádoucí kvůli možným dopadům na zdraví.

Vzhledem k masivnímu rozvoji systému LTE v České Republice dochází k podstatným změnám konfigurací antén na stávajících základnových stanicích operátorů. Dochází k výměnám současných anténních systémů nebo se doplňují nové antény, čímž se mění podstatným způsobem vliv antén na jejich okolí. Každou výměnou dochází ke změnám v rozměrech bezpečných zón kolem antén a je povinností operátora předložit změnovou dokumentaci příslušnému orgánu ochrany veřejného zdraví. V případě, že nejvyšší přípustné hodnoty jsou překročeny, je operátoru uložena povinnost provoz zařízení zastavit. Aby k překročení hodnot nedocházelo, je nutno před samotnou instalací spočítat vliv antén na okolí.

Z tohoto důvodu jsem navrhnul, naprogramoval, otestoval a odladil aplikaci *ElmagCalc for Android*, která umožňuje vyloučit nevhodné navržení konfigurace anténního systému už ve chvíli plánování při návštěvě lokality. Jako hlavní přínosy nové aplikace lze označit tyto:

- možnost výpočtu bezpečných zón ve chvíli plánování konfigurace antén při návštěvě zájmového místa přímo v terénu
- aplikace obsahuje seznam antén, které skutečně mobilní operátoři ve svých sítích využívají a prostřednictvím aktualizací aplikace je zajištěna jejich budoucí editace
- lokalizace uživatele aplikace na Google mapách a zobrazení vypočtených zón přímo v satelitní mapě pro možnost srovnání s reálnou situací
- volná, bezplatná distribuce aplikace prostřednictvím Obchod Play společnosti Google

Výsledky vypočtené prostřednictvím aplikace jsem porovnal s výsledky měření intenzity elektromagnetického pole na základnové stanici operátorů O2 a T-Mobile s výsledkem, který prověřil správnost výpočtových algoritmů aplikace. Potvrdilo se, že uvnitř zóny, jejíž rozměry jsem pomocí aplikace vypočítal, může docházet k překročení limitních hodnot intenzity elektromagnetického pole. Rovněž jsem srovnáním potvrdil, že mimo hranice těchto zón k překročení intenzity nedošlo.

Z osobního pohledu vidím jako největší přínos celé diplomové práce, že jsem se naučil programovat v prostředí programovacího jazyka Android, který je založen na základech Java. Pochopil jsem architekturu tříd Android projektů, jejich vzájemné závislosti a souvislosti mezi jednotlivými soubory projektu. Naučil jsem se implementovat mapové podklady do aplikace a zakreslit do nich požadovaná data. Díky této práci jsem se také seznámil se službou Obchod Play z opačné strany než jen jako uživatel aplikací Android.

---

## Použitá literatura

- [1] SOUKENKA, Radim. Informace o regulaci využívání rádiového SPEKtra: Přehled rádiového spektra. *Informace o regulaci využívání rádiového SPEKtra: Přehled rádiového spektra* [online]. [© 2007-2013] nebo [29. 3. 2013]. [cit. 2013-04-01]. Dostupné z: <http://www.radiospektrum.cz/cze/uvod.html>
- [2] HANUS, Doc. Ing. Stanislav , CSc. *BEZDRÁTOVÉ A MOBILNÍ KOMUNIKACE*. Praha, 2003. ISBN 80 – 214 – 1833 – 8. Dostupné z: [http://data.idnes.cz/soubory/tec\\_checktech/a041123\\_jma\\_skr\\_bezdratove-mobilni-komunikace.pdf](http://data.idnes.cz/soubory/tec_checktech/a041123_jma_skr_bezdratove-mobilni-komunikace.pdf) . Scripta. Vysoké učení technické v Brně
- [3] Česká Republika. Zákon č.183/2006 Sb.: o územním plánování a stavebním řádu (stavební zákon). In: *Sbírka zákonů* 2006.
- [4] Česká Republika. Zákon č.258/2000Sb: o ochraně veřejného zdraví a o změně některých souvisejících zákonů. In: *Sbírka zákonů* 2000.
- [5] Česká Republika. Zákon č.20/1987 Sb. ve znění zákona ČNR č. 425/1990 Sb.: o státní památkové péči.
- [6] Česká Republika. Nařízení Vlády č. 1/2008 Sb.: ochraně zdraví před neionizujícím zářením. In: *Sbírka zákonů* 1/2008 na straně 2
- [7] Česká Republika. Předpis 480/2000 Sb.: Nařízení vlády o ochraně zdraví před neionizujícím zářením. In: 29. 12. 2000. Dostupné z: <http://www.psp.cz/sqw/sbirka.sqw?cz=480&r=2000>
- [8] Česká republika. METODICKÝ NÁVOD: ke sjednocení postupu orgánů a zařízení ochrany veřejného zdraví. In: Praha, 2009, Čj.:29015/2009. Dostupný také z: <http://www.mzcr.cz/odbornik/>
- [9] OK2KQM & OK6A: - dB-dBm-W-uV kalkulačka. RADIOKLUB VYSOKÉ ŠKOLY BÁŇSKÉ - TECHNICKÉ UNIVERZITY OSTRAVA. [online]. Ostrava [cit. 2013-04-01]. Dostupné z: <http://radioklub.vsb.cz/index.php/calculacka>
- [10] Zdraví a mobil: Lidské zdraví a mobilní technologie v souvislostech. APMS | VYSKOČILOVA 1442/1B, 140 21 Praha 4. [online]. [cit. 2013-04-14]. Dostupné z: <http://www.zdraviamobil.cz/>
- [11] Alcatel Lucent: Nortel™ Univity® Metro Cell CDMA BTS. [online]. [cit. 2013-04-14]. Dostupné z: <https://support.alcatel-lucent.com/portal/productContent.do?productId=null&entryId=1-0000000001677&type=alpha>
- [12] NOVÁK, Ing. František. ING. JIŘÍ KLINER. *Výstavba telekomunikačních sítí a zařízení*. Praha: ABF - nakladatelství ARCH, ABF, 2006. Stavební právo, 1/2006. ISBN 80-86905-28-4.
- [13] GRYGAR, Tomáš. *Konfigurace anténního systému základnových stanic mobilní rádiové sítě 4. generace*. Ostrava, 2013. <http://hdl.handle.net/10084/99040>. Dostupné z: <http://hdl.handle.net/10084/99040>. Bakalářská práce. Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava. Fakulta elektrotechniky a informatiky. Vedoucí práce Ing. Libor Michálek, Ph.D.



- 
- [14] Android drží spolu s iOS více než 96% podíl mezi operačními systémy. In: *Mobilenet.cz: články* [online]. 30.1.2015. 2015 [cit. 2015-04-17]. Dostupné z: <http://mobilenet.cz/clanky/android-spolu-s-ios-drzi-vice-nez-96-podil-mezi-operacnimi-systemy-18872>
- [15] NOVÁK, In. Mgr. Jaromír. ROZHODNUTÍ: Příděl rádiových kmitočtů LTE. 2014, s. 17. DOI: čj. ČTÚ-77 777/2013-613/XXXIX.



---

## Seznam příloh

Příloha A:	Programový kód aplikace .....	I
Příloha B:	Protokol měření EMP .....	II

---

Příloha.A:      *Programový kód aplikace*

Obsah přílohy:

1. MainActivity.java	1 strana
2. Help.java	1 strana
3. DatabaseConector.java	5 stran
4. Seznam_anten.java	15 stran
5. Vyber_ze_seznamu.java	5 stran
6. Maps.java	8 stran
7. Vyber_ze_seznamu.xml	5 stran
8. Help.xml	3 strany
9. Maps.xml	4 strany
10. Seznam_anten_xml	25 stran
11. Strings.xml	1 strana
12. AndroidManifest.xml	2 strany

---

Příloha.B:     *Protokol měření EMP*